



Rita Dionísio Narciso

Licenciatura em Ciências de Engenharia Biomédica

Influência de Estímulos Auditivos na Atividade Espontânea do Cérebro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica

Orientador: Carla Maria Quintão Pereira, Professora Auxiliar, FCT/UNL
Co-orientador: Isabel Maria Antunes Pires, Professora Auxiliar Convidada,
FCSH/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2016



Rita Dionísio Narciso

Licenciatura em Ciências de Engenharia Biomédica

Influência de Estímulos Auditivos na Atividade Espontânea do Cérebro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica

Orientador: Professora Doutora Carla Maria Quintão Pereira, Professora Auxiliar, Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Professora Doutora Isabel Maria Antunes Pires, Professora Auxiliar Convidada, Departamento de Ciências Musicais da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2016

Influência de Estímulos Auditivos na Atividade Espontânea do Cérebro

Copyright © 2016. Todos os direitos reservados. Rita Dionísio Narciso, Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Sê todo em cada coisa. Põe quanto és

No mínimo que fazes”

Ricardo Reis

AGRADECIMENTOS

À Professora Carla Quintão, orientadora do projeto, o meu sincero agradecimento pela tanta disponibilidade e atenção dedicadas ao longo dos últimos seis meses, por todo o apoio e motivação e, sobretudo, por tudo o que me ensinou, a tantos níveis. Agradeço também à Professora Isabel Pires, co-orientadora do projeto, pela hospitalidade com que me recebeu no seu laboratório, pela disponibilidade e pela dedicação que sempre demonstrou ao projeto. Não posso deixar de dar também um destaque especial aos meus colegas Miguel Morais e Jéssica Morais, por todo o apoio, companheirismo e colaboração, que acabaram por aumentar o valor desta experiência. Agradeço ainda ao Professor Ricardo Vigário, por estar sempre disponível a ajudar e por todas as curiosidades e sugestões tão construtivas que foi partilhando no decorrer deste percurso.

As minhas palavras de agradecimento estendem-se a toda a minha família, colegas e amigos, pela motivação, apoio e amizade incondicionais que foram preponderantes para a concretização desta dissertação.

Agradeço em especial aos meus pais, Alice e João Narciso, aos quais devo tudo o que sou e para os quais qualquer agradecimento fica muito aquém daquilo que merecem; e ao meu irmão, João Pedro Narciso, que é o meu maior orgulho e que a todas as horas me faz querer ser melhor. Agradeço aos meus avós, António Dionísio de Sousa, Fernanda Coelho Castro e Casimiro Narciso; à minha madrinha, Isabel Marques, e ao meu padrinho, António Marques; aos meus tios, em especial à Rosário Narciso; aos meus primos e primas, principalmente à Inês Candeias, ao Guilherme Sousa e à Joana Marques; e aos que, não tendo grau de parentesco algum, são também parte da família: à Ema Cartaxeiro e à Dina Brilha.

Agradeço ao meu namorado, Nuno Fernandes, pelo apoio, compreensão, carinho e suporte ao longo dos últimos quatro anos, por ser o meu porto seguro e a pessoa incrível que é.

Faço também um agradecimento especial àquela que foi a minha segunda família ao longo dos últimos cinco anos, porque “melhor do que viver com um amigo é viver em família”: à Inês Salvador e à Mafalda Oliveira, e, ainda que durante menos tempo, à Mariana Monteiro e ao Miguel Morais.

Agradeço aos colegas que acabaram por se tornar grandes amigos e que levo para a vida: à Gabriela Pereira, por ter sido sempre a minha companheira de todas as aventuras; ao Leonardo Martins, por ser o melhor amigo que alguma vez alguém pode ter; às minhas meninas Sara Coutinho, Mariana Ferreira e Maria Pia Silva; ao João Neto, ao Marcos Rodrigues, ao Manuel Vicente, ao Manuel Eliseu, à Juliana Costa, ao Diogo Alves e ao João Sousa.

Por último, aos de sempre, que, apesar de longe, estão sempre bem perto: ao José Sousa, à Raquel Santos, à Sara Reis, à Tatiana Carvalho, à Beatriz Ventura, ao Dário Ferreira, ao Alexandre Silva, à Liliana Santos, ao André Silva, ao David Rosa, ao Luís Carvalho, ao João Abreu, ao Daniel Paulo, à Inês Miranda e à Sandra Pereira.

A todos, muito obrigada!

“Há gente que fica na história da história da gente”

Jorge Fernando

RESUMO

Ao longo das últimas décadas surgiram inúmeros estudos no sentido de compreender a forma como os estímulos externos, nomeadamente estímulos auditivos, são percebidos pelo cérebro humano e de avaliar os efeitos dos mesmos no seu funcionamento. Foi no sentido de explorar estas questões, e tendo como objetivo primário a avaliação das alterações na atividade elétrica espontânea do cérebro produzidas pela aplicação de estímulos auditivos, que surgiu o presente estudo. Assim, foi registada, com recurso ao equipamento Emotiv - Brainwear® EPOC, a atividade elétrica cerebral de 16 sujeitos saudáveis durante períodos de silêncio e durante a aplicação de 12 sons com diferentes qualidades, sendo, simultaneamente, distribuído um questionário para avaliação da percepção dessas qualidades. Entre os participantes distinguiram-se 6 indivíduos sujeitos a treino musical intensivo, 7 considerados músicos amadores e 3 sem formação musical, com o intuito de inferir acerca da existência de tendências na percepção auditiva dos três grupos. Os registos eletroencefalográficos foram analisados através do cálculo da densidade espectral de potência associada a cada um dos períodos. Os resultados sugerem que a presença de um som tende a provocar uma diminuição da potência dos ritmos cerebrais teta, alfa e beta, que, por sua vez, está associada à ativação de mecanismos de processamento cognitivo. Concluiu-se ainda que a influência de cada som na atividade cerebral não aparenta estar associada às qualidades dos sons, mas relaciona-se com a forma de onda e, principalmente, com a intensidade dos mesmos: sons mais estáticos, e com uma forma de onda mais estável ao longo do tempo, tendem a ter menos influência sobre a atividade cerebral, enquanto o contrário é verificado com sons de intensidade variável e formas de onda mais complexas. Finalmente, os resultados do estudo sugerem que a influência de um estímulo auditivo na atividade cerebral aumenta com o nível de formação musical.

Palavras-chave: Eletroencefalografia; Estímulos Auditivos; Percepção Auditiva; Sinestesia; Ritmos Cerebrais; Densidade Espectral de Potência

ABSTRACT

Throughout the past decades numerous studies have emerged aiming to understand how external stimuli, namely auditory stimuli, are perceived by the human brain and to evaluate their effects on its functioning. The present study arose with the purpose of exploring these issues, with the primary objective of accessing the changes in spontaneous brain electrical activity produced by the application of auditory stimuli. Taking this objective into account, the electrical brain activity of 16 healthy subjects was recorded using the Emotiv - Brainwear® EPOC equipment. The recording occurred during periods of silence and during the application of 12 sounds with different qualities, being simultaneously distributed a questionnaire to evaluate the perception of the sound qualities. In order to infer the existence of trends in the auditory perception, participants were split into three groups, based on their musical training: 6 subjects undergoing intensive musical training, 7 considered amateur musicians and 3 without any musical training. The electroencephalographic recordings were analyzed by the calculation of the power spectral density associated with each time period. Results indicated that the presence of an auditory stimulus tends to produce a decrease in the power of theta, alpha and beta brain rhythms, which is associated with the activation of cognitive processing mechanisms. Results suggest that changes on brain activity are not associated with the qualities of each sound but are closely related to their waveform and, particularly, with their intensity: static sounds, and sounds with a stable waveform over time, tend to have less influence on brain activity, while the opposite is verified with the sounds of varying intensity and with more complex waveforms. Lastly, the study results showed that the influence of an auditory stimulus on brain activity increases with the level of musical training.

Keywords: Electroencephalography; Auditory Stimuli; Auditory Perception; Synesthesia; Brain Rhythms; Power Spectral Density

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE DE CONTEÚDOS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	XIX
SÍMBOLOS.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	2
2. BASES NEUROFISIOLÓGICAS	5
2.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA NERVOSO	5
2.2. BIOELETRICIDADE DOS NEURÓNIOS.....	7
2.2.1. <i>Potencial de Ação – Geração, Propagação e Transmissão</i>	8
2.3. O ENCÉFALO	9
2.3.1. <i>O Cérebro</i>	10
3. ELETROENCEFALOGRAFIA	13
3.1. ATIVIDADE ESPONTÂNEA E RITMOS CEREBRAIS	13
Ritmo Delta.....	14
Ritmo Teta	14
Ritmo Alfa	14
Ritmo Beta.....	14
3.2. EQUIPAMENTO DE ELETROENCEFALOGRAFIA.....	16
3.2.1. <i>Sistema de Medida</i>	16
Posicionamento e colocação dos elétrodos	17
3.2.2. <i>Módulos Lógicos</i>	19
3.3. VANTAGENS E APLICAÇÕES	19
4. SOM E PERCEÇÃO AUDITIVA.....	21
4.1. ESTÍMULO AUDITIVO: O SOM	21
4.2. ANATOMIA E FISIOLÓGIA DA AUDIÇÃO	23
4.2.1. <i>Mecanismos Centrais da Audição: Via Auditiva</i>	24
4.3. PERCEÇÃO AUDITIVA	25
4.3.1. <i>Características físicas do som e qualidades sonoras percebidas</i>	26
4.3.2. <i>Localização do Processamento das Características Sonoras</i>	28

5.	FUNDAMENTOS DE PROCESSAMENTO DE DADOS	29
5.1.	PROCESSAMENTO DE SINAL EEG	29
5.1.1.	<i>Análise em Componentes Independentes</i>	<i>29</i>
	Algoritmo FastICA	31
5.1.2.	<i>Densidade Espectral de Potência</i>	<i>33</i>
5.1.3.	<i>Filtros Digitais.....</i>	<i>34</i>
	Filtro Butterworth.....	37
5.2.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
5.2.1.	<i>Teste T de Student.....</i>	<i>38</i>
6.	METODOLOGIA.....	41
6.1.	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	41
6.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS ESTÍMULOS AUDITIVOS.....	42
6.3.	CONFIGURAÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	45
6.4.	PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL EEG	50
6.5.	PROCESSAMENTO DOS DADOS	52
6.5.1.	<i>Respostas aos questionários</i>	<i>52</i>
6.5.2.	<i>Sinal EEG.....</i>	<i>52</i>
7.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	57
7.1.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS QUESTIONÁRIOS.....	57
7.1.1.	<i>Amostra total</i>	<i>57</i>
7.1.2.	<i>Influência do nível de formação musical</i>	<i>61</i>
7.2.	ANÁLISE DOS SINAIS DE EEG	63
7.2.1.	<i>Análise geral.....</i>	<i>63</i>
7.2.2.	<i>Influência dos diferentes sons</i>	<i>68</i>
7.2.3.	<i>Influência do nível de formação auditiva</i>	<i>72</i>
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
8.1.	CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO	81
8.2.	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO.....	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	APÊNDICES.....	95
A.	APÊNDICE I – ANÁLISE DOS SONS	95
B.	APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO	101
C.	APÊNDICE III – RESULTADOS QUESTIONÁRIOS – AMOSTRA TOTAL	104
D.	APÊNDICE IV – RESULTADOS QUESTIONÁRIOS – GRUPOS DE FORMAÇÃO MUSICAL.....	107
	<i>Indivíduos com Treino Musical Intensivo</i>	<i>107</i>
	<i>Músicos Amadores.....</i>	<i>108</i>
	<i>Indivíduos Sem Formação Musical.....</i>	<i>109</i>
E.	APÊNDICE V – MAPAS TOPOGRÁFICOS	111
F.	APÊNDICE VI –RESULTADOS TESTES T – GRUPO SFM	114

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM NEURÓNIO	6
FIGURA 2-2 – POTENCIAL DE AÇÃO.....	8
FIGURA 2-3 – PRINCIPAIS ESTRUTURAS DO ENCÉFALO E SUAS SUB-DIVISÕES	10
FIGURA 2-4 – DETALHES DE UM GIRO, DE UM SULCO E DE UMA FISSURA	10
FIGURA 2-5 – VISTA LATERAL DIREITA DO CÉREBRO COM AS SUAS DIVISÕES ANATÓMICAS REPRESENTADAS	11
FIGURA 2-6 – ÁREAS FUNCIONAIS DO CÉREBRO.....	12
FIGURA 3-1 – ONDAS DELTA, TETA, ALFA, BETA E GAMA	15
FIGURA 3-2 – FUSO OU RITMO SIGMA	15
FIGURA 3-3 – ESQUEMA DE UM EQUIPAMENTO DE EEG DIGITAL.....	17
FIGURA 3-4 – POSICIONAMENTO ESQUEMÁTICO DOS ELÉTRÓDOS SEGUNDO O SISTEMA INTERNACIONAL 10/20.....	17
FIGURA 3-5 – ESQUEMAS DO POSICIONAMENTO DOS ELÉTRÓDOS, SEGUNDO UM PLANO SAGITAL, CORONAL E AXIAL	18
FIGURA 4-1 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE UMA ONDA SINUSOIDAL.....	21
FIGURA 4-2 – REPRESENTAÇÃO TEMPORAL DE UMA ONDA SONORA PERIÓDICA PRODUZIDA POR UMA VIOLA	22
FIGURA 4-3 – PRINCIPAIS ESTRUTURAS DO OUVIDO	23
FIGURA 4-4 – VIA AUDITIVA	24
FIGURA 4-5 – LOCALIZAÇÃO DO GIRO TEMPORAL SUPERIOR.....	28
FIGURA 5-1 – MODELO DE MISTURA E DE SEPARAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES INDEPENDENTES.....	31
FIGURA 5-2 – CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM DIGITAL.....	35
FIGURA 5-3 – RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA ASSOCIADAS AOS FILTROS PASSA-BAIXO, PASSA-ALTO, PASSA-BANDA E REJEITA- BANDA.....	36
FIGURA 5-4 – RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA DE UM FILTRO PASSA-BAIXO BUTTERWORTH DE ORDENS 1 A 6.....	37
FIGURA 5-5 – FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE T DE STUDENT PARA UMA DISTRIBUIÇÃO UNICAUDAL À DIREITA...	39
FIGURA 5-6 – FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE T DE STUDENT PARA UMA DISTRIBUIÇÃO BICAUDAL.....	40
FIGURA 6-1 – FORMA DE ONDA DO SOM 2 E RESPECTIVO ESPETROGRAMA	44
FIGURA 6-2 – CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL.....	45
FIGURA 6-3 – FOTOGRAFIA TIRADA NO LIM DURANTE O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	46
FIGURA 6-4 – EQUIPAMENTO EMOTIV EPOC.....	46
FIGURA 6-5 – POSICIONAMENTO DOS ELÉTRÓDOS DO EQUIPAMENTO EMOTIV EPOC, SEGUNDO O SISTEMA INTERNACIONAL 10/20.	47
FIGURA 6-6 – PÁGINA INICIAL DA APLICAÇÃO TESTBENCH™	48
FIGURA 6-7 – ESQUEMA DE BLOCOS REPRESENTATIVO DAS VÁRIAS CONDIÇÕES DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	49
FIGURA 6-8 – INTERFACE DESENVOLVIDA PARA O PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL	51
FIGURA 6-9 – CURVAS PSD ASSOCIADAS AO PERÍODO DE SILÊNCIO E AO PERÍODO DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO AUDITIVO....	53
FIGURA 6-10 – MAPA TOPOGRÁFICO DO ESCALPE DE UM SUJEITO COM TREINO MUSICAL INTENSIVO OBTIDO A PARTIR DAS DIFERENÇAS DA ATIVIDADE NA BANDA TETA ENTRE O PERÍODO DE SILÊNCIO E DURANTE A AUDIÇÃO DO SOM 8.....	55
FIGURA 6-11 – INTERFACE DESENVOLVIDA PARA ANÁLISE DE SINAL	56
FIGURA 7-1 – PERCENTAGENS DE CONCORDÂNCIA E DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO A AMOSTRA TOTAL.....	59
FIGURA 7-2 – PERCENTAGENS DE CONCORDÂNCIA E DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO, CONSIDERANDO APENAS OS SONS E RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS INDICADAS POR UMA MAIORIA SIGNIFICATIVA DA AMOSTRA TOTAL, E OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012).....	60

FIGURA 7-3 – PERCENTAGENS DE CONCORDÂNCIA E DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS DO GRUPO TMI.	62
FIGURA 7-4 – PERCENTAGENS DE CONCORDÂNCIA E DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS DO GRUPO MA.	62
FIGURA 7-5 – PERCENTAGENS DE CONCORDÂNCIA E DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS DO GRUPO SFM.....	62
FIGURA 7-6 – NÍVEIS DE CORRELAÇÃO NEGATIVA ASSOCIADOS AOS VÁRIOS RITMOS CEREBRAIS CONSIDERADOS NO ESTUDO DE MANTINI ET AL (2007) PARA A RNR 4	67
FIGURA 7-7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA MÉDIA DO Nº DE CANAIS QUE APRESENTARAM ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS NA PRESENÇA DE CADA UM DOS 12 SONS	70
FIGURA 7-8 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO Nº DE CANAIS QUE APRESENTARAM ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS NA PRESENÇA DE ESTÍMULO PARA OS RITMOS CEREBRAIS TETA (θ), ALFA (A) E BETA (B).....	75
FIGURA A-1 – FORMA DE ONDA DO SOM 1 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	95
FIGURA A-2 – FORMA DE ONDA DO SOM 2 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	95
FIGURA A-3 – FORMA DE ONDA DO SOM 3 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	96
FIGURA A-4 – FORMA DE ONDA DO SOM 4 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	96
FIGURA A-5 – FORMA DE ONDA DO SOM 5 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	97
FIGURA A-6 – FORMA DE ONDA DO SOM 6 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	97
FIGURA A-7 – FORMA DE ONDA DO SOM 7 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	98
FIGURA A-8 – FORMA DE ONDA DO SOM 8 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	98
FIGURA A-9 – FORMA DE ONDA DO SOM 9 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	99
FIGURA A-10 – FORMA DE ONDA DO SOM 10 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	99
FIGURA A-11 – FORMA DE ONDA DO SOM 11 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	100
FIGURA A-12 – FORMA DE ONDA DO SOM 12 E RESPETIVO ESPETROGRAMA.....	100
FIGURA B-1 – PRIMEIRA PÁGINA DO QUESTIONÁRIO FACULTADO AOS VOLUNTÁRIOS	101
FIGURA B-2 – SEGUNDA PÁGINA DO QUESTIONÁRIO FACULTADO AOS VOLUNTÁRIOS	102
FIGURA B-3 – DÉCIMA PÁGINA DO QUESTIONÁRIO FACULTADO AOS VOLUNTÁRIOS.....	103
FIGURA C-1 – GRÁFICOS CIRCULARES ILUSTRATIVOS DAS PERCENTAGENS RELATIVAS AO NÚMERO DE RESPOSTAS ATRIBUÍDAS A CADA UMA DAS OPÇÕES ASSOCIADAS ÀS VÁRIAS CARACTERÍSTICAS DOS SONS 1, 2, 3 E 4.....	104
FIGURA C-2 – GRÁFICOS CIRCULARES ILUSTRATIVOS DAS PERCENTAGENS RELATIVAS AO NÚMERO DE RESPOSTAS ATRIBUÍDAS A CADA UMA DAS OPÇÕES ASSOCIADAS ÀS VÁRIAS CARACTERÍSTICAS DOS SONS 5, 6, 7 E 8.....	105
FIGURA C-3 – GRÁFICOS CIRCULARES ILUSTRATIVOS DAS PERCENTAGENS RELATIVAS AO NÚMERO DE RESPOSTAS ATRIBUÍDAS A CADA UMA DAS OPÇÕES ASSOCIADAS ÀS VÁRIAS CARACTERÍSTICAS DOS SONS 9, 10, 11 E 12	106
FIGURA E-1 – MAPAS TOPOGRÁFICOS ASSOCIADOS ÀS DIFERENÇAS NA POTÊNCIA DO RITMO BETA ENTRE O PERÍODO DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA O GRUPO TMI E PARA OS 12 SONS.....	111
FIGURA E-2 – MAPAS TOPOGRÁFICOS ASSOCIADOS ÀS DIFERENÇAS NA POTÊNCIA DO RITMO BETA ENTRE O PERÍODO DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA O GRUPO MA E PARA OS 12 SONS	112
FIGURA E-3 – MAPAS TOPOGRÁFICOS ASSOCIADOS ÀS DIFERENÇAS NA POTÊNCIA DO RITMO BETA ENTRE O PERÍODO DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA O GRUPO SFM E PARA OS 12 SONS.....	113

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 6-1 – QUALIDADES DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS RELATIVAS AO CAMPO DA MATÉRIA, SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012).	43
TABELA 6-2 – QUALIDADES DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS RELATIVAS AO CAMPO DA POSIÇÃO, SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012).	43
TABELA 7-1 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE QUALIDADES DO CAMPO DA MATÉRIA, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012)	58
TABELA 7-2 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE QUALIDADES DO CAMPO DA POSIÇÃO, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012)	58
TABELA 7-3 – SONS E RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS INDICADAS PELA MAIORIA DA AMOSTRA CONSIDERADA.	60
TABELA 7-4 – RESULTADOS DOS TESTES T NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL E PARA CADA CANAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DE TODOS OS INDIVÍDUOS E, PARA CADA INDIVÍDUO, DE TODOS OS SONS.	64
TABELA 7-5 – DESCRIÇÃO DAS SEIS RNR MAIS AMPLAMENTE IDENTIFICADAS EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS	66
TABELA 7-6 – RESULTADOS DOS TESTES T NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA CANAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DE TODOS OS INDIVÍDUOS	69
TABELA 7-7 – DIVISÃO DOS 12 SONS NO QUE RESPEITA À INTENSIDADE, À FORMA DE ONDA E À ANÁLISE ESPETRAL	70
TABELA 7-8 – RESULTADOS DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA REGIÃO CEREBRAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DE TODOS OS INDIVÍDUOS.	71
TABELA 7-9 – RESULTADOS DOS TESTES T NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA CANAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO TMI	73
TABELA 7-10 – RESULTADOS DOS TESTES T NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA CANAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO MA	74
TABELA 7-11 – RESULTADOS DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA REGIÃO CEREBRAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO TMI.	77
TABELA 7-12 – RESULTADOS DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA REGIÃO CEREBRAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO MA	77
TABELA 7-13 – RESULTADOS DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL, PARA CADA SOM E PARA CADA REGIÃO CEREBRAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO SFM	78
TABELA D-1 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA MATÉRIA, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS COM TREINO MUSICAL INTENSIVO.	107

TABELA D-2 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA POSIÇÃO, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS COM TREINO MUSICAL INTENSIVO.....	108
TABELA D-3 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA MATÉRIA, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS MÚSICOS AMADORES.....	108
TABELA D-4 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA POSIÇÃO, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS MÚSICOS AMADORES.....	109
TABELA D-5 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA MATÉRIA, SEGUNDO OS RESULTADO DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS SEM FORMAÇÃO MUSICAL.....	109
TABELA D-6 – CARACTERÍSTICAS DOS SONS ESCOLHIDOS DE FORMA A INFERIR ACERCA DE CARACTERÍSTICAS DO CAMPO DA POSIÇÃO, SEGUNDO OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO E SEGUNDO OS RESULTADOS DO ESTUDO DE PIRES (2012), CONSIDERANDO APENAS OS INDIVÍDUOS SEM FORMAÇÃO MUSICAL.....	110
TABELA F-1 – RESULTADOS DOS TESTES T NO QUE RESPEITA ÀS ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS VERIFICADAS ENTRE OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE APLICAÇÃO DE ESTÍMULO, PARA CADA RITMO CEREBRAL E PARA CADA CANAL, CONSIDERANDO OS PERÍODOS DE SILÊNCIO E DE ESTÍMULO DOS INDIVÍDUOS PERTENCENTES AO GRUPO SFM	114

SIGLAS E ACRÓNIMOS

BOLD	Dependente do Nível de Oxigénio do Sangue (BOLD, do inglês <i>Blood Oxygen Level Dependent</i>)
CAD	Conversor Analógico-Digital
CMS	<i>Common Mode Sense</i>
DRL	<i>Driven Right Leg</i>
EEG	Eletroencefalografia
FCSH	Faculdade de Ciências Sociais e Humanas
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologias
fMRI	Imagem por Ressonância Magnética Funcional, do inglês <i>functional Magnetic Resonance Imaging</i>
ICA	Análise em Componentes independentes, do inglês <i>Independent Component Analysis</i>
IID	Independentes e Identicamente Distribuídas
MA	Músicos Amadores
PSD	Densidade Espectral de Potência, do inglês <i>Power Spectral Density</i>
RIF	Resposta Impulsiva Finita
RII	Resposta Impulsiva Infinita
RMP	Rede em Modo Padrão
RNR	Redes Neurais de Repouso
SDK	Pacote de programas de desenvolvimento, do inglês <i>Software Development Kit</i>
SFM	Sem Formação Musical
SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Nervoso Periférico
TF	Transformada de Fourier
TLC	Teorema do Limite Central

- TMI** Treino Musical Intensivo
- UNL** Universidade Nova de Lisboa
- USB** Ligação por Porta Universal, do inglês *Universal Serial Bus*

SÍMBOLOS

A	Amplitude ou Matriz de mistura, dependendo do contexto
λ	Comprimento de onda
φ_0	Fase inicial
t	Tempo ou Valor da estatística de teste, dependendo do contexto
μ_0	Valor utilizado para comparação com a média da amostra
n	Tamanho da amostra
S_x	Densidade espectral de potência
P_x	Potência média finita
$x(t)$	Sinal de potência
R_x	Função de autocorrelação
\bar{X}	Média de uma amostra
S_X	Desvio padrão amostral
p	Valor-p
θ	Ritmo teta
α	Ritmo alfa
β	Ritmo beta
$x_i(t)$	Observação i ; misturas de fontes
a_{ij}	Coefficientes de Mistura
s_j	Sinais originais provenientes das fontes
x	Vetor coluna com as observações x_1, \dots, x_n
s	Vetor aleatório com os sinais originais das fontes
W	Matriz de separação
J	Neguentropia

G	Função não quadrática que permite ajustar a maximização da não-Gaussianidade
v	Variável Gaussiana de média zero e variância um
y	Variável de média zero e variância um
$E\{G\}$	Valor esperado de G
μ_s	Valor da média calculada para o período de silêncio
μ_e	Valor da média calculada para o período de aplicação de estímulo
Δ	Diferença entre as médias μ_s e μ_e
v_{max}	Valor máximo do integral associado ao período de silêncio
r	Razão entre Δ e v_{max}
r_{max}	Máximo do valor absoluto de todas as razões r calculadas, para cada canal

1. INTRODUÇÃO

“Every disease is a musical problem; every cure is a musical solution.”

Novalis

Ao longo das últimas décadas surgiram inúmeros estudos no sentido de compreender a forma como os estímulos externos são percebidos pelo cérebro humano e de avaliar os efeitos desses mesmos estímulos no seu funcionamento, tanto recorrendo a técnicas de análise da atividade elétrica cerebral (Koelsch *et al*, 2003; Fukushima *et al*, 2012), como através de estudos neuro-imagiológicos (McIntosh *et al*, 1997; Koelsch *et al*, 2005; Grahm e Brett, 2007; Bengtsson *et al*, 2009; Bijsterbosch *et al*, 2011; Nombela *et al*, 2013; Hall *et al*, 2015). Ainda assim, os mecanismos subjacentes à alteração e modulação da percepção cerebral por estímulos externos é ainda uma área em aberto, suscetível a diferentes abordagens.

Entre os estudos supracitados, vários são aqueles que procuram validar a utilização de estímulos auditivos enquanto terapia complementar no tratamento dos mais variados distúrbios do foro neurofisiológico ou até mesmo para melhorar o desempenho das mais simples atividades cognitivas, como a modulação da atenção e de comportamentos impulsivos (Koelsch *et al*, 2005; Hyde *et al*, 2009; Koelsch, 2009; Thaut e Abiru, 2009; AbediKoupaei *et al*, 2013; Carrer, 2015; Raglio e Oasi, 2015). Os programas associados a este tipo de terapia complementar, baseiam-se na aplicação de estímulos acústicos com o intuito de provocar alterações funcionais e/ou estruturais, a nível cerebral, que permitam uma melhoria da qualidade de vida dos pacientes e, simultaneamente, uma redução da tendência para a utilização excessiva de medicação (Thaut e Abiru, 2009; Nombela *et al*, 2013). Este método terapêutico é apoiado por estudos que demonstraram que o som ativa uma grande quantidade de estruturas do cérebro envolvidas no processamento cognitivo, motor e emocional (Koelsch, 2009). Contudo, apesar de estarem bem estabelecidas as imensas evidências práticas da eficácia e dos benefícios associados à terapia baseada em estímulos auditivos, a base científica e os mecanismos subjacentes aos seus efeitos são atualmente ainda pouco compreendidos (Hillecke *et al*, 2005; Koelsch, 2009; Nombela *et al*, 2013; Benoit *et al*, 2014).

Uma outra abordagem a esta temática é a questão da percepção do som, na qual têm incidido inúmeros estudos nos últimos anos, nomeadamente nas diferenças percetivas individuais, nas associadas à experiência passada, nas que surgem ao longo do desenvolvimento do ser humano, no que respeita à formação musical e, portanto à neuro-plasticidade associada à prática repetitiva, nas relativas a questões genéticas e de género, entre outras (Koelsch *et al*, 2003; Koelsch *et al*, 2005; Grahn e Rowe, 2009; Schneider e Wengenroth, 2009; Berland *et al*, 2015; Sloos, 2015).

“Music can name the unnameable and communicate the unknowable.”

Leonard Bernstein

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

O tema deste projeto surgiu no seguimento dos resultados de um estudo experimental desenvolvido por Pires (2012), realizado por inquérito, que pretendia confirmar ou revogar as relações de dependência entre certas características físicas do som e as qualidades sonoras percebidas. Apesar da percepção auditiva ser subjetiva e individual, os resultados apontam para a existência de uma dependência consistente de certas características físicas do sinal sonoro em determinados aspetos de carácter percetivo. Não obstante, a comunidade científica ainda se questiona acerca dos processos que desencadeiam todas estas percepções e associações, dos mecanismos através dos quais o som modela o cérebro e a sua atividade elétrica espontânea e sobre a forma como este reponde. Foi neste sentido, e tendo como objetivo final procurar novas abordagens à terapia através de estímulos auditivos, que surgiu o projeto apresentado no decorrer do presente documento.

Tendo em conta o que acima foi referido, o objetivo primário do projeto prendeu-se com a avaliação das alterações na atividade elétrica espontânea do cérebro produzidas pela aplicação de estímulos auditivos. Esta análise incluiu uma distinção entre indivíduos com e sem formação musical específica e ainda, num ponto intermédio, de músicos amadores, com o objetivo de inferir acerca da existência de tendências na percepção auditiva em cada um dos três grupos. O projeto contou com a colaboração do Laboratório de Informática Musical existente na Faculdade de Ciências Sociais e Humanas (FCSH) da Universidade Nova de Lisboa (UNL), onde foram

gerados os estímulos e se procedeu à aquisição dos registos da atividade cerebral, recorrendo à técnica de Eletroencefalografia, e do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologias (FCT), também pertencente à UNL, onde os registos eletroencefalográficos foram processados.

O projeto apresentado encontra-se incluído num grupo de investigação, no qual se inseriam mais dois projetos dedicados a esta temática, mas com abordagens distintas: um deles tendo como objetivo avaliar a forma como as características dos estímulos auditivos alteram a atividade elétrica do cérebro recorrendo a potenciais evocados; enquanto o outro pretendia avaliar a forma como a audição de estímulos complexos, nomeadamente a música, alteraria a atividade do cérebro. Pretende-se então, com a associação dos resultados de todos estes projetos, fortalecer a base científica da temática da influência dos estímulos auditivos na atividade elétrica cerebral.

2. BASES NEUROFISIOLÓGICAS

2.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA NERVOSO

Exibindo uma massa de apenas 2 quilogramas, aproximadamente 3% do peso total do corpo, o sistema nervoso é um dos menores, no entanto o mais complexo, dos 11 sistemas do corpo humano (Tortora e Derrickson, 2009). O sistema nervoso é uma rede complexa, bastante organizada, de milhares de milhões de neurónios, as unidades fundamentais de integração, processamento e transmissão de informação, e de um número ainda maior de neuróglia, que, apesar de não aparentarem ter ação direta sobre estes aspetos, têm funções de manutenção, alimentação e proteção dos neurónios. Atualmente aceita-se que estas unidades estão organizadas em núcleos especializados em tarefas simples, que comunicam de forma extremamente estruturada, permitindo um processamento sequencial e em paralelo da informação (Pereira, 1998).

Os neurónios possuem excitabilidade elétrica, ou seja, apresentam a capacidade de responder a alterações no ambiente elétrico gerando um sinal que se propaga ao longo da superfície da sua membrana (Tortora e Derrickson, 2009). Tipicamente, distinguem-se quatro regiões na constituição de um neurónio: as dendrites, ou árvore dendrítica, o corpo celular, pericário ou soma, o axónio e os seus terminais pré-sinápticos. Na figura 2-1 encontra-se representada a estrutura típica de um neurónio.

Os componentes do tecido nervoso agrupam-se de variadas formas. Os corpos celulares neuronais são frequentemente dispostos em agrupamentos, designados gânglios e núcleos. Os axónios dos neurónios são geralmente dispostos em feixes, nomeados nervos e tratos. Além disso, regiões de tecido nervoso que se estendem sobre vasta área são agrupados como substância cinzenta, que deve a sua cor acinzentada aos corpos de Nissl, presentes nos corpos celulares e nas dendrites dos neurónios, ou substância branca, que deve a sua cor esbranquiçada e brilhante à mielina.

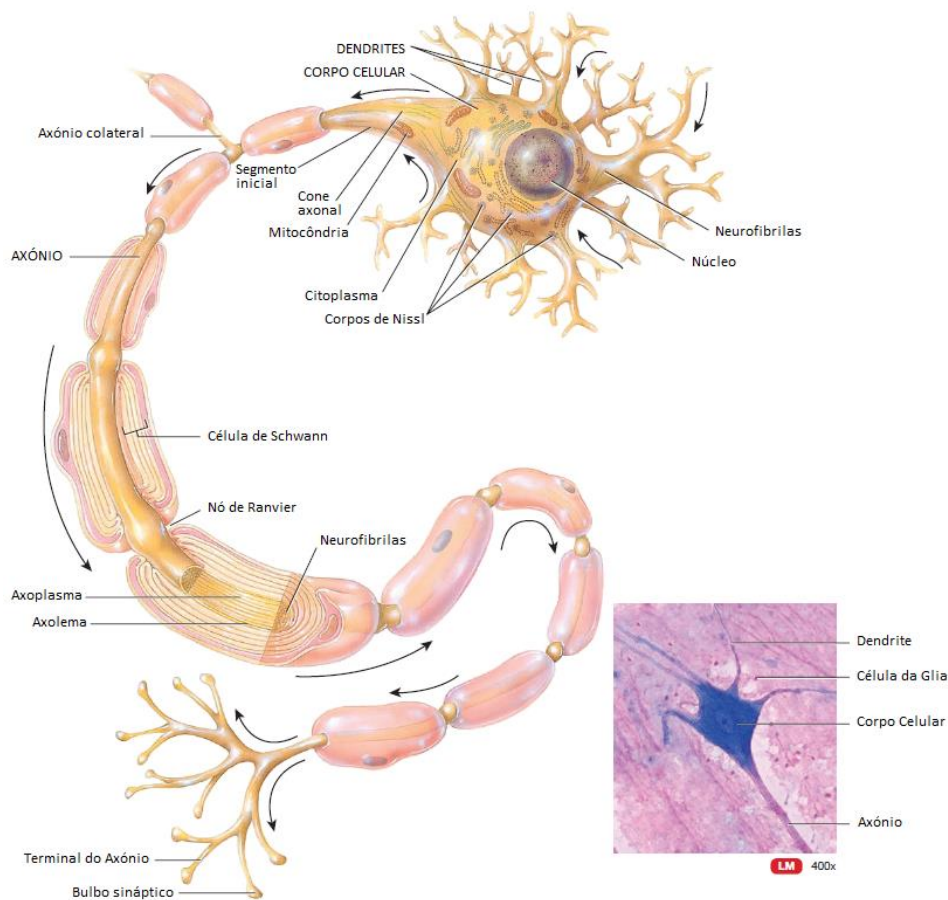


Figura 2-1 - Estrutura típica de um neurônio, incluindo as dendrites, ou árvore dendrítica, o corpo celular, pericário ou soma, o axônio e os seus terminais pré-sinápticos. Cada uma destas componentes está associada, respetivamente, à entrada, integração, condução e transmissão da informação (Pereira, 1998). Alguns axónios são revestidos por uma camada de mielina, bainha de mielina, que é interrompida em diversas regiões, designadas nós de Ranvier. A bainha de mielina é formada pelas células de Schwann, um tipo de neuróglia, e constitui um revestimento multicamadas de proteínas e lípidos que isola eletricamente o axónio de um neurónio, aumentando a velocidade da condução de informação. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

O sistema nervoso é composto por duas subdivisões principais: a parte central do Sistema Nervoso ou Sistema Nervoso Central (SNC), que consiste no encéfalo e na medula espinal, e a parte periférica do Sistema Nervoso ou Sistema Nervoso Periférico (SNP), que inclui todo o tecido nervoso exterior à parte central (Tortora e Derrickson, 2009). O SNC processa a entrada de muitos tipos diferentes de informação sensorial, sendo também a fonte dos pensamentos, das emoções e das memórias. Já o SNP está envolvido na condução de estímulos das diversas partes do corpo para o SNC e do SNC para os recetores musculares.

2.2. BIOELETRICIDADE DOS NEURÓNIOS

Os neurónios são células eletricamente excitáveis, comunicando, principalmente, através dos potenciais de ação, sinais elétricos que permitem a comunicação a grandes distâncias no interior do corpo (Tortora e Derrickson, 2009).

As diferenças de potencial elétrico ocorrentes nas células vivas são criadas e mantidas através de correntes elétricas, geradas a partir do fluxo de iões. Uma vez que a bicamada lipídica da membrana plasmática é um bom isolante elétrico, as vias principais para o fluxo de iões, através da membrana, são os canais iónicos, que abrem e fecham em resposta a estímulos específicos.

A produção dos potenciais de ação depende de duas características básicas da membrana plasmática das células excitáveis: a existência do potencial de membrana em repouso e a presença de canais iónicos específicos. Como a maioria das células existentes no corpo, a membrana plasmática das células excitáveis apresenta um potencial de membrana, ou seja, uma diferença de potencial elétrico entre a membrana da célula e o meio extracelular, designada potencial de membrana em repouso.

O potencial de repouso da membrana deve-se a uma pequena acumulação de iões negativos no meio intracelular, ao longo da face interna da membrana, e de uma acumulação de iões positivos no meio extracelular, ao longo da superfície externa da membrana. Nos neurónios, o potencial de repouso da membrana oscila entre -40 e -90 mV, sendo tipicamente utilizado o valor de -70 mV para caracterizar este estado, o que significa que o potencial, no interior do neurónio, é 70 mV mais negativo que o potencial no meio extracelular (Tortora e Derrickson, 2009; Guyton e Hall, 2006). O estado de repouso neuronal é mantido em resultado da interação de diversos fatores, tais como a permeabilidade da membrana aos iões existentes no meio intra e extracelular, as concentrações destes mesmos iões, o transporte ativo através da membrana plasmática e a diferença de potencial entre o meio interior e exterior à mesma (Pereira, 1998).

2.2.1. POTENCIAL DE AÇÃO – GERAÇÃO, PROPAGAÇÃO E TRANSMISSÃO

Um potencial de ação, ou impulso nervoso, trata-se de uma variação rápida do potencial da membrana do axónio que flui rapidamente ao longo da membrana da fibra nervosa, termo geral que designa qualquer extensão desenvolvida a partir do corpo celular de um neurónio (Tortora e Derrickson, 2009). Este fenómeno decorre em duas fases principais: uma fase de despolarização, seguida de uma fase de repolarização, representadas na figura 2-2. Quando a

célula, habitualmente polarizada com valores de cerca de -70 mV, sofre uma despolarização de duas ou três dezenas de mV, capaz de atingir um determinado limiar, aproximadamente -55 mV, esta despolarização é acentuada, através de mecanismos de retroalimentação positiva, atingindo-se cerca de 30 mV. Seguidamente, dá-se a fase de repolarização e, após uma breve hiperpolarização, que pode atingir até cerca de -90 mV, o potencial da membrana retorna ao seu valor de equilíbrio. Todo este processo, que dura, tipicamente, cerca de 2 ms, é responsável pela transmissão de informação ao longo do axónio (Kandel e Schwartz, 1985).

Os potenciais de ação propagam-se ao longo do axónio, sendo a informação conduzida de um extremo ao outro do mesmo. A criação de um potencial de ação numa determinada região do axónio aumenta o potencial de membrana em torno dessa região.

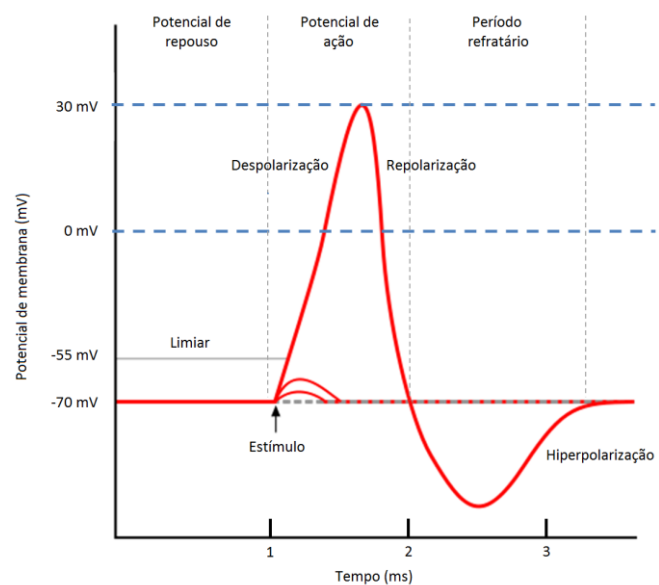


Figura 2-2 - Potencial de ação. A geração de um potencial de ação deve-se à existência, na membrana do axónio, de canais de Na^+ e de K^+ dependentes do potencial. Quando um estímulo provoca a despolarização da membrana até ao limiar, os canais de Na^+ abrem, permitindo o fluxo intenso de iões Na^+ para o interior do axónio, que altera o potencial da membrana de cerca de -55 mV para, aproximadamente, 30 mV, dando-se assim a fase de despolarização. Pouco depois, os canais de Na^+ começam a fechar e os canais de K^+ começam a abrir, permitindo a saída de iões K^+ e opondo-se ao aumento do potencial. Desta forma, o potencial de repouso da membrana é restabelecido para o valor de cerca de -70 mV, ocorrendo, então, a fase de repolarização. Estando fechados os canais de Na^+ e dado que os canais de K^+ permanecem abertos após o término da fase de repolarização, pode ocorrer uma fase de hiperpolarização, na qual o potencial de membrana se torna ainda mais negativo, aproximadamente -90 mV. Quando os canais de K^+ fecham, o potencial de membrana retorna ao nível de cerca de -70 mV (Pereira, 1998; Guyton e Hall, 2006; Tortora e Derrickson, 2009). (adaptado de Neurotoxicidade de ureases e peptídeos derivados, s.d.)

Quando esse potencial atinge o limiar supracitado, gera-se um novo potencial de ação e assim sucessivamente nas regiões adjacentes (Pereira, 1998). Este processo de condução designa-se propagação e é unidirecional uma vez que, qualquer região que acabou de experimentar um potencial de ação não está apta a gerar um segundo (Tortora e Derrickson, 2009). Assim, os potenciais de ação surgem habitualmente no início do axónio, uma vez que é ao nível do corpo celular que se dá a integração da informação que chega ao neurónio e que se determina o aparecimento do potencial de ação, e fluem até aos terminais axónicos (Pereira, 1998).

A transmissão da informação entre neurónios é mediada pelas sinapses, que podem dividir-se em sinapses elétricas e sinapses químicas (Tortora e Derrickson, 2009). Nas primeiras existe um contacto físico direto entre os citoplasmas das duas células através de estruturas chamadas junções comunicantes, sendo que o potencial de ação, ao chegar ao terminal da célula pré-sináptica, se replica na célula pós-sináptica. Relativamente às sinapses químicas, a transmissão de informação é regulada por substâncias libertadas pela célula pré-sináptica, os neurotransmissores, para a fenda sináptica, um espaço de 20 a 50 nm, preenchido com líquido intersticial e no qual não ocorre propagação de impulsos nervosos (Tortora e Derrickson, 2009).

2.3. O ENCÉFALO

O encéfalo pode ser dividido em grandes regiões, sendo elas, ascendendo em sequência a partir da medula espinal: o rombencéfalo, ou encéfalo posterior, o mesencéfalo, ou encéfalo médio, e o prosencéfalo, ou encéfalo anterior (Standring, 2008). O rombencéfalo é subdividido em bulbo raquidiano, ou medula oblonga, ponte e cerebelo. O bulbo, a ponte e o mesencéfalo são coletivamente designados tronco encefálico. O prosencéfalo é subdividido em diencéfalo e telencéfalo. O diencéfalo compreende principalmente o tálamo e o hipotálamo, mas inclui também o epitálamo, de tamanho menor, e o subtálamo (Standring, 2008). O telencéfalo é constituído, principalmente, pelos dois hemisférios cerebrais que constituem o cérebro. Estas estruturas encontram-se representadas na figura 2-3.

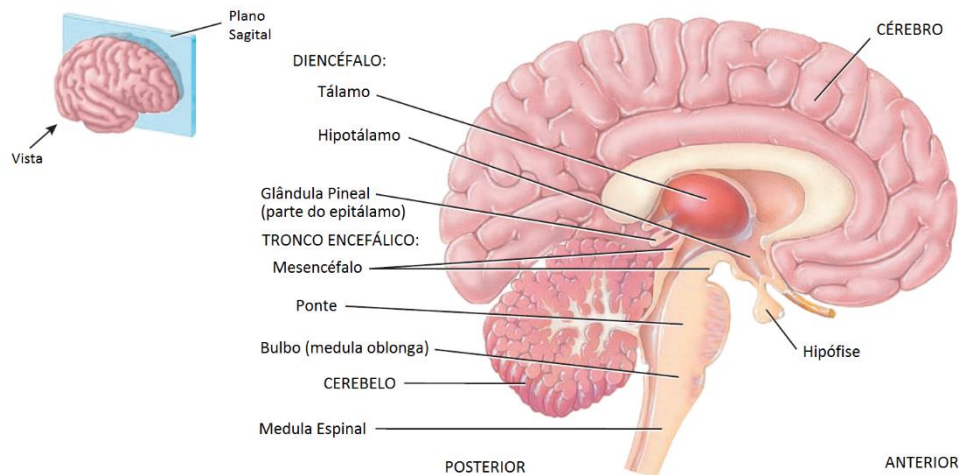


Figura 2-3 – Principais estruturas do encéfalo - diencéfalo, tronco encefálico, cerebelo e cérebro - e suas subdivisões. Encontra-se representada no canto superior esquerdo a vista através da qual é representada a figura principal. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

2.3.1. O CÉREBRO

O cérebro humano constitui a maior parte do encéfalo e encontra-se dividido em dois hemisférios, esquerdo e direito (Standring, 2008). Esta estrutura é constituída pelo córtex cerebral, por uma região de substância branca e por núcleos de substância cinzenta profundamente localizados na substância branca (Tortora e Derrickson, 2009).

O córtex cerebral é a estrutura do cérebro que está relacionada com as funções mais sofisticadas de percepção, cognição e motoras (Pereira, 1998). Esta estrutura trata-se de uma região de substância cinzenta que forma a margem externa do cérebro. A região cortical dobra-se sobre si mesma, sendo as pregas formadas chamadas de giros ou circunvoluções. Os sulcos mais profundos são conhecidos como fissuras e os mais superficiais são denominados apenas sulcos, tal como se ilustra na figura 2-4. A fissura mais proeminente, a fissura longitudinal, separa o cérebro nos seus hemisférios cerebrais direito e esquerdo (Tortora e Derrickson, 2009).

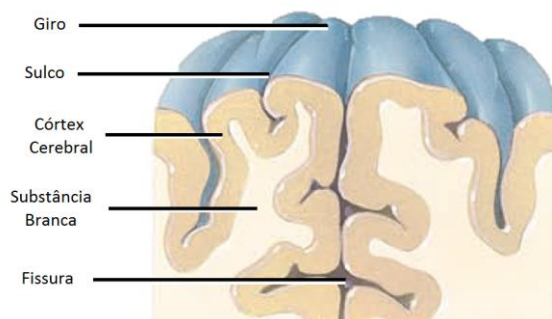


Figura 2-4 - Detalhes de um giro, de um sulco e de uma fissura, incluindo a representação da substância branca e do córtex cerebral. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

O córtex cerebral pode ser dividido em termos anatómicos e funcionais. Anatomicamente, consideram-se essencialmente quatro lobos, consoante os ossos que os recobrem: lobo frontal, temporal, parietal e occipital, ilustrados na figura 2-5 (Tortora e Derrickson, 2009). Além do seu conhecido envolvimento em funções motoras e na linguagem, vários estudos atribuem ao lobo frontal do cérebro funções relativas a uma multiplicidade de processos cognitivos, como a atenção e a memória (Chayer e Freedman, 2001). O lobo temporal está relacionado com a organização de estímulos sensoriais, com a percepção auditiva, com a linguagem e com a produção do discurso. Já o lobo parietal está envolvido no processamento de informação somatossensorial, sendo crucial para a percepção do espaço (Clark *et al*, 2010). Por último, o lobo occipital é o centro de processamento visual.

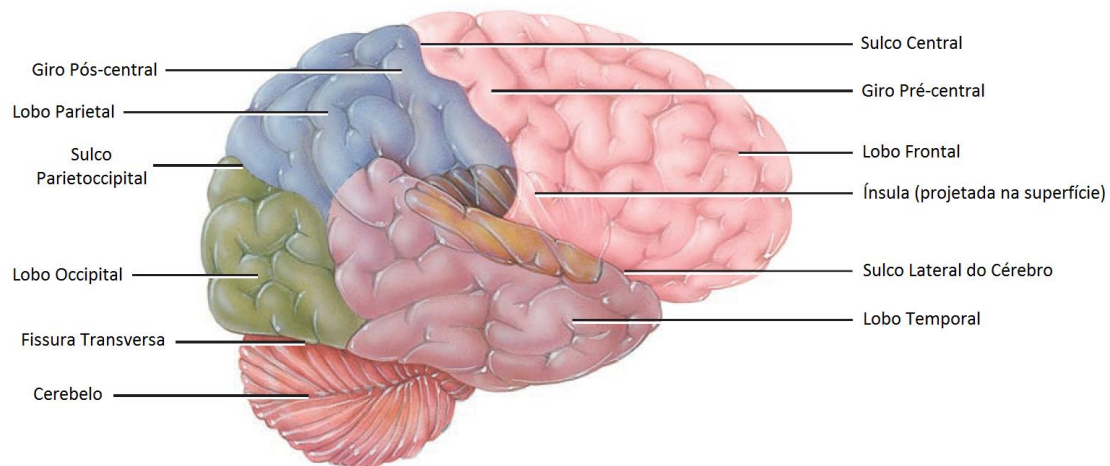


Figura 2-5 – Vista Lateral direita do cérebro com as suas divisões anatómicas representadas através de diferentes cores: a zona azul é referente ao lobo parietal; a zona verde está associada ao lobo occipital; a zona roxa representa o lobo temporal; e a zona cor-de-rosa refere-se ao lobo frontal. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

No tocante às áreas funcionais, o córtex cerebral divide-se, consoante os tipos específicos de sinais processados, em áreas sensitivas, que recebem informação sensitiva e participam na percepção; áreas motoras, que controlam a execução dos movimentos voluntários; e áreas associativas, que lidam com funções integrativas mais complexas, como a memória, as emoções, o raciocínio e a vontade (ver figura 2-6) (Tortora e Derrickson, 2009).

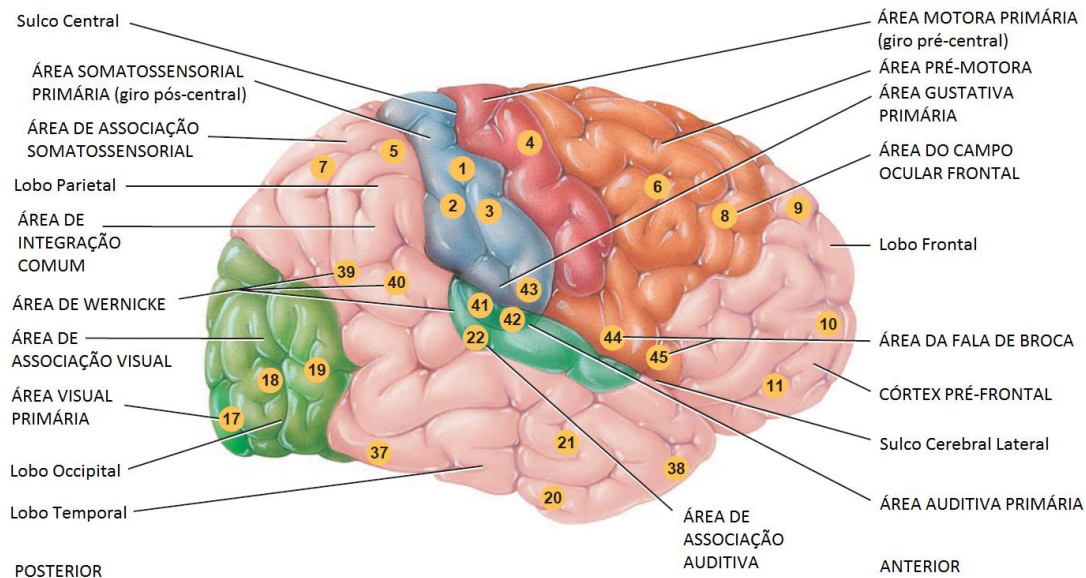


Figura 2-6 – Áreas funcionais do cérebro, incluindo uma divisão anatômica do mesmo. Áreas sensitivas: 1,2,3, 17, 28, 41, 42 e 43. Áreas motoras: 4, 44 e 45. Áreas associativas: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 37, 39, 40. Encontram-se também representadas algumas estruturas do cérebro como o sulco central e o sulco cerebral lateral. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

Profundamente no interior do encéfalo encontram-se três núcleos que, no seu conjunto, se designam núcleos da base, ou gânglios da base. Os núcleos da base recebem influxos do córtex cerebral e fornecem efluxos para as áreas motoras do mesmo, através de conexões neurais com os núcleos do tálamo. Uma das funções principais destas estruturas é controlar o início e o término dos movimentos corporais, bem como regular o tônus muscular. Além disso, influenciam muitos aspetos da função cortical, incluindo funções sensitivas, límbicas, cognitivas e linguísticas (Tortora e Derrickson, 2009).

Apesar de o encéfalo ser praticamente simétrico entre os seus lados direito e esquerdo, é possível encontrar diferenças anatômicas e fisiológicas entre os dois hemisférios cerebrais. Cada hemisfério especializa-se na execução de determinadas funções específicas, sendo, a título de exemplo, o hemisfério direito mais especializado na consciência musical e artística.

3. ELETROENCEFALOGRAFIA

A eletroencefalografia (EEG) é uma técnica de monitorização eletrofisiológica que permite um registo gráfico da atividade elétrica cerebral através de elétrodos colocados no escalpe, ou até mesmo no interior da substância encefálica. Um registo de EEG mede flutuações na diferença de potencial resultantes das correntes iónicas geradas ao nível dos neurónios. Assim, um EEG trata-se do registo espaço-temporal da atividade elétrica do córtex cerebral. A interpretação do sinal de EEG baseia-se na sua análise espectral e na associação das frequências de onda registadas nos vários estados fisiológicos naturais (Pereira, 1998; Fernandes, 2011).

3.1. ATIVIDADE ESPONTÂNEA E RITMOS CEREBRAIS

Desde a invenção da técnica de EEG que se analisam os potenciais elétricos provenientes do encéfalo. Datados de 1928, os registos espontâneos de EEG foram os primeiros a ser realizados (Nunez, 1981). Este traçado espontâneo apresenta-se extremamente irregular, dificultando a sua caracterização. No entanto, recorrendo a técnicas que permitem o cálculo dos seus espectros de potência, ou até mesmo por simples inspeção visual, verifica-se facilmente a existência de frequências dominantes correspondentes a diferentes estados de vigília, em indivíduos ditos normais, e notórias alterações nestes padrões, nos casos de indivíduos com determinadas patologias (Pereira, 1998). Além disso, as primeiras medições da atividade cerebral trouxeram fortes evidências de que as características do traçado de EEG seriam bastante dependentes do estado de repouso do indivíduo.

Para que surjam ritmos cerebrais, é necessária a satisfação de, pelo menos, três condições: a existência de uma quantidade significativa de neurónios sincronamente ativos, com uma geometria favorável à soma espaço-temporal dos sinais, e que a atividade dos mesmos seja oscilatória, ou seja, caracterizada por uma determinada frequência (Speckmann e Elger, 1993). Assim, existem diversas situações em que se verificam as condições supracitadas, sendo possível destacar, num indivíduo dito normal, os ritmos delta, teta, alfa, beta e gama, sendo ainda de

ressaltar os fusos, ou ritmo sigma, descritos nas figuras 3-1 a 3-6, pela ordem mencionada (Schomer e Silva, 2011).

RITMO DELTA

O ritmo delta, representado na figura 3-1 (a), ocorre durante o sono em adultos, sendo normal em crianças despertas. Geralmente estes ritmos têm a maior amplitude de todo o registro EEG, aproximadamente 300 μ V, e uma frequência inferior a 3,5 Hz (Estrada et al, 2004).

RITMO TETA

O termo *teta* caracteriza ritmos com uma gama de frequências entre 4 e 7,5 Hz e uma amplitude inferior a 100 μ V. Este ritmo, ilustrado na figura 3-1 (b), apresenta relevância na infância e em estados de sonolência e sono (Schomer e Silva, 2011).

RITMO ALFA

O ritmo alfa, caracterizado por frequências entre 8 e 13 Hz e amplitudes inferiores a 50 μ V em indivíduos adultos, ocorre em estados de vigília nas regiões posteriores da cabeça, geralmente com maior amplitude nas áreas occipitais. Este ritmo, representado na figura 3-1 (c), é mais facilmente observável quando o indivíduo se encontra com os olhos fechados e em condições de relaxamento, sendo atenuado em situações de atenção focalizada, especialmente a nível visual, e esforço mental (Schomer e Silva, 2011). O ritmo alfa é o ritmo mais onipresente em todos os indivíduos saudáveis e amplamente estudado (Pereira, 1998).

RITMO BETA

O ritmo beta, ilustrado na figura 3-1 (d), ocorre com frequências compreendidas entre os 14 e os 30 Hz. Estes ritmos são registados, principalmente, nas regiões parietal e frontal da cabeça, durante estados de alerta, em situações de atenção focalizada ou de *stress* (Schomer e Silva, 2011). O aparecimento das ondas beta está intimamente relacionado com o desaparecimento das ondas delta e dos fusos. O papel destes ritmos no que respeita ao processamento de informação está ainda por explicar, no entanto, vão existindo evidências do seu forte envolvimento nas atividades mais complexas do cérebro humano.

RITMO GAMA

Considera-se que o ritmo gama, representado na figura 3-1 (e), está relacionado com o processamento de informação e ativação dos movimentos voluntários. Estes ritmos apresentam uma frequência superior a 30 Hz e uma amplitude inferior a 2 μ V (Susmakova e Krakovska, 2008).

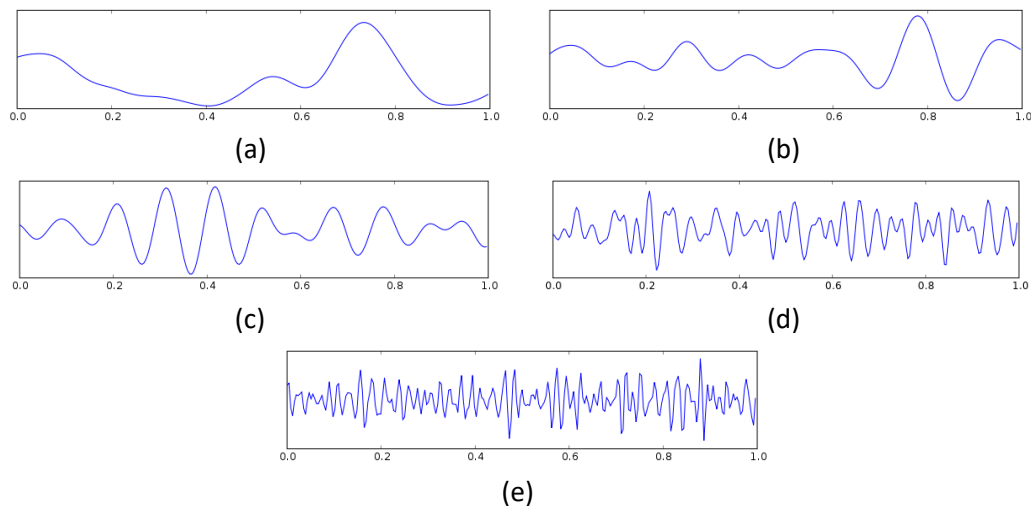


Figura 3-1 - Amostra de EEG de 1 segundo de aquisição. O sinal foi filtrado de forma a apresentar apenas ondas delta (a), teta (b), alfa (c), beta (d) e gama (e). (adaptado de Gamboa, 2005).

FUSOS OU RITMOS SIGMA

Os fusos, ou ritmo sigma, ilustrados na figura 3-6, apresentam uma frequência entre 7 e 14 Hz, e surgem em pequenos surtos de 1 a 2 s, repetindo-se com uma frequência de 0.1 a 0.2 Hz (Pereira, 1998).

Estes ritmos têm sido considerados um dos primeiros sinais da sincronização do EEG durante as fases iniciais do sono (Schomer e Silva, 2011).

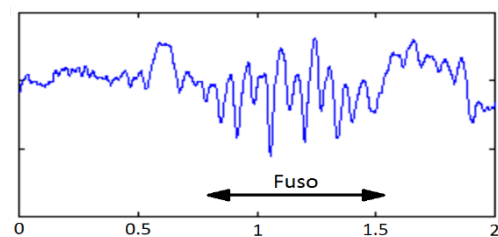


Figura 3-2 - Fuso ou Ritmo Sigma. (adaptado de Latka *et al*, 2005).

3.2. EQUIPAMENTO DE ELETROENCEFALOGRAFIA

O mundo digital tem transformado a neurofisiologia moderna de uma forma indiscutível. Apesar de, nos atuais sistemas de aquisição dos equipamentos de EEG, a interface com o paciente se conservar analógica, a aquisição, o armazenamento e a análise do sinal recorre a ferramentas digitais (Schomer e Silva, 2011).

De um modo geral, os atuais equipamentos de EEG são constituídos por duas componentes principais: o sistema de medida e todo o conjunto logicial essencial ao processamento dos dados (Pereira, 1998).

3.2.1. SISTEMA DE MEDIDA

Das componentes básicas do sistema de medida de qualquer equipamento moderno de EEG, esquematizadas na figura 3-7, destacam-se 1) os elétrodos, discutidos com mais detalhe posteriormente neste capítulo, 2) o sistema de amplificação, onde se insere a *jack box*, na qual são inseridos os terminais dos elétrodos, e o amplificador diferencial, 3) os filtros, selecionados de acordo com as medidas que se pretende efetuar de forma a manter, na medida do possível, as características do sinal, e 4) o conversor analógico-digital (CAD), dada a necessidade de converter o sinal EEG analógico contínuo em valores numéricos discretos (Deuschl, 1999; Pereira, 1998; Schomer e Silva, 2011). São ainda de salientar outros controlos existentes como 1) a calibração do equipamento, 2) a sua resolução, determinada pelos níveis de amplitude do sinal guardado, 3) a sua sensibilidade, ou seja, o valor mínimo capaz de ser registado¹, e 4) a sua taxa de aquisição, cuja escolha deve ser baseada num compromisso entre a resolução temporal pretendida e a memória ocupada pelos dados (Deuschl, 1999; Pereira, 1998).

¹ Numa primeira abordagem, há a possibilidade de confusão entre sensibilidade e resolução. No entanto, repare-se que a primeira poderá ser inferior à segunda devido ao ruído presente no equipamento.

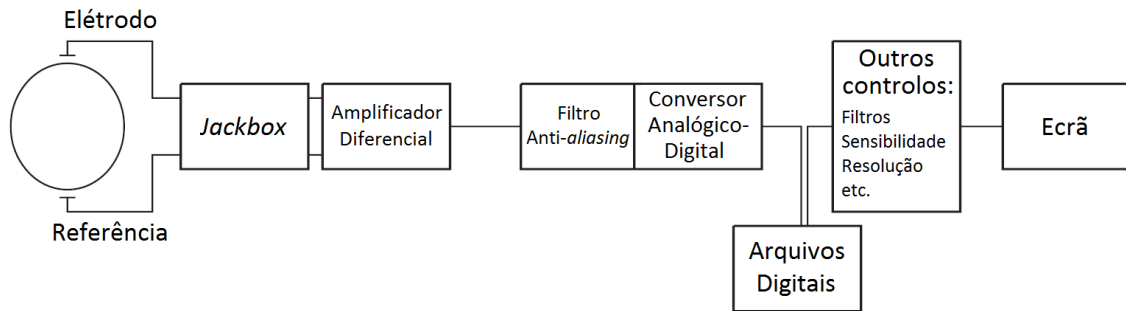


Figura 3-3 – Esquema de um equipamento de EEG digital. (adaptado de Schomer e Silva, 2011).

POSICIONAMENTO E COLOCAÇÃO DOS ELÉTTRODOS

Os eléttrodos são posicionados de forma a detetar com precisão os potenciais que afluem à superfície do escalpe. Desta forma, cada eléttrodo representa um ponto espacial de potencial, pelo que o aumento do número de eléttrodos aumenta a fiabilidade dos resultados (Schomer e Silva, 2011). Nas aquisições de EEG atuais é usual a utilização de 21 eléttrodos, posicionados de acordo com o sistema internacional 10/20, proposto pelo comité da Federação Internacional das Sociedades de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica em 1958, de forma facilitar a comparação entre os resultados obtidos pelos diferentes laboratórios (Schomer e Silva, 2011).

Tal como se encontra representado na figura 3-8, de acordo com o sistema internacional 10/20 cada eléttrodo é nomeado com uma letra que indica a região do crânio no qual se encontra posicionado - frontal, central, parietal e occipital - e com um número que indica em qual dos lados, direito ou esquerdo, em relação ao eixo de simetria do crânio - sendo que os números ímpares se relacionam com o lado esquerdo e os pares com o direito - ou a letra z, associada à linha central do crânio (Schomer e Silva, 2011).

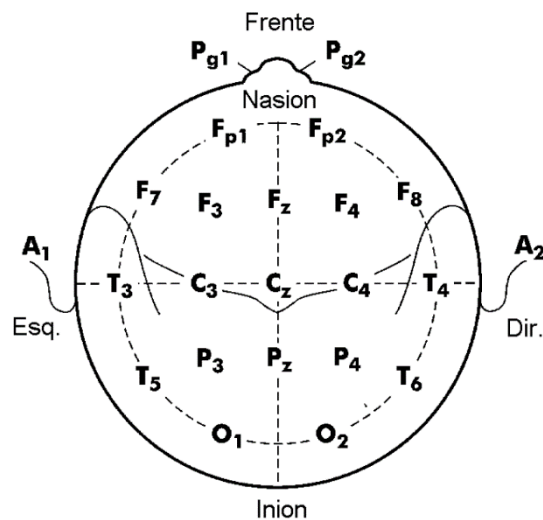


Figura 3-4 - Posicionamento esquemático dos eléttrodos segundo o sistema internacional 10/20. (adaptado de Lewine e Orrison Jr., 1995).

As medições para a posição dos diversos elétrodos são, então, realizadas, tal como se ilustra na figura 3-9, com base em quatro pontos referenciais: o nasion, o inion e o ponto pré-auricular esquerdo e direito. A escolha dos elétrodos de referência deve ser criteriosa, de forma a evitar contaminação da atividade que se pretende observar.

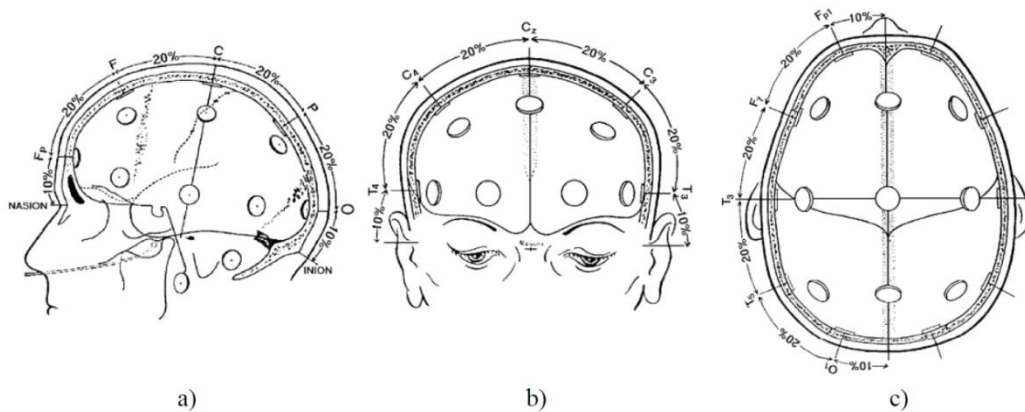


Figura 3-5 - Esquemas do posicionamento dos elétrodos, segundo o sistema internacional 10/20, segundo um plano sagital - a); segundo um plano coronal - b); e segundo um plano axial - c). (adaptado de Jasper, 1958).

Além do posicionamento dos elétrodos, também a forma como se estabelece o contacto entre estes e o escalpe, principalmente a resistência utilizada para estabelecer esse contacto, se revela de extrema importância na qualidade da aquisição de sinais eletroencefalográficos (Lewine e Orrison Jr., 1995).

As estratégias de registo dos potenciais podem dividir-se em montagens referenciais, nas quais o registo dos elétrodos é feito tendo como referência um elétrodo posicionado à distância, e montagens bipolares, nas quais o registo de cada elétrodo é realizado tendo como referência um elétrodo adjacente (Schomer e Silva, 2011). A utilização de uma montagem bipolar permite ao eletroencefalógrafo visualizar gradientes de potencial localizados, enquanto a montagem referencial permite visualizar aqueles mais descentralizados.

3.2.2. MÓDULOS LOGICIAIS

No que respeita à aquisição, muitos dos procedimentos já abordados nesta secção são, nos equipamentos de aquisição de EEG mais atuais, controlados logicamente. O operador pode ainda controlar o tipo de registo que pretende efetuar, espontâneo ou de potenciais evocados e, no segundo caso, explicitar os parâmetros dos estímulos: tipo, frequência, intensidade, tempo de análise, etc. (Pereira, 1998).

De um modo geral, o sinal resultante do registo de EEG possui artefactos, tanto devido ao movimento do paciente como ao próprio sistema de aquisição de sinal (Fernandes, 2011). Como tal, deverá ser realizado um tratamento do sinal para que seja possível interpretá-lo. Entre as técnicas de processamento do sinal de EEG destacam-se, pela sua ampla utilização, a aplicação da Transformada de Fourier, usada para estudar o sinal em termos de frequência, e a visualização em mapas, que permite uma primeira localização da atividade cerebral.

3.3. VANTAGENS E APLICAÇÕES

A principal vantagem da utilização da técnica de EEG é a sua elevada resolução temporal, da ordem do milissegundo, sendo, portanto, precisa na aquisição de mudanças rápidas na atividade neuronal (Zion-Golumbic, s.d.). Complementarmente, podem destacar-se variadíssimas vantagens desta técnica sobre outras técnicas similares: 1) está menos sujeita a artefactos de movimento; 2) não é um aparelho claustrofóbico; 3) é de fácil transporte; 4) é relativamente mais barato em comparação com outras técnicas; 5) é um aparelho silencioso; 6) pode ser aplicado a qualquer indivíduo, desde crianças a indivíduos com implantes metálicos, ao contrário de outras técnicas; 7) não envolve exposição a elementos radioativos; 8) é uma técnica não invasiva (Zion-Golumbic, s.d.; Min e Luo, 2009).

A técnica de EEG tem sido aplicada desde há várias décadas na prática clínica diária, nomeadamente no diagnóstico e tratamento de epilepsia e de outras doenças do foro neurológico, no estudo da atividade cerebral em diferentes situações cognitivas e durante as várias fases do sono, para indicar efeitos de medicação e drogas, para avaliar a resposta aos mais variados estímulos e durante a realização de determinadas tarefas, entre outras. Uma

outra aplicação a destacar é a construção de Interfaces Cérebro-Computador¹, um sistema que mede a atividade cerebral e converte-a num sinal artificial capaz de controlar dispositivos computacionais através do movimento de um cursor ou de um membro de um robô, estabelecendo um método alternativo à comunicação entre o cérebro e o mundo exterior, sem a participação dos nervos periféricos e dos músculos (Hwang *et al*, 2013; Nurse *et al*, 2015; Rani *et al*, 2015). Este tipo de sistema é bastante utilizado para auxiliar pessoas com deficiências, principalmente a nível motor, e indivíduos com uma idade avançada.

¹ Do inglês *Brain-Computer Interfaces*.

4. SOM E PERCEÇÃO AUDITIVA

4.1. ESTÍMULO AUDITIVO: O SOM

O som pode ser definido tanto em termos físicos como fisiológicos. Fisicamente, o som é uma vibração que se propaga como uma onda de pressão através de um determinado meio (Yost, 2007; Goldstein, 2007). Qualquer objeto que possua propriedades de inércia e elasticidade tem a capacidade de vibrar e, como tal, de produzir um som (Yost, 2007). Numa definição mais fisiológica, o som é a recepção e a percepção dessas ondas pelo cérebro (Goldstein, 2007).

A forma mais simples de uma onda sonora é aquela descrita por funções harmônicas sinusoidais, que possuem um comportamento periódico. Uma onda sinusoidal, ilustrada na figura 4-1, tem associados vários parâmetros: 1) amplitude, definida como o deslocamento máximo relativamente ao ponto de referência, 2) comprimento de onda, que indica a distância entre dois picos de pressão na direção de propagação da onda, 3) período, tempo necessário para que a onda percorra essa distância, 4)

frequência, que, sendo definida como o número de oscilações por segundo, é o inverso do período, e 5) fase inicial, que indica a posição inicial da onda relativamente à referência e vem normalmente expressa em graus

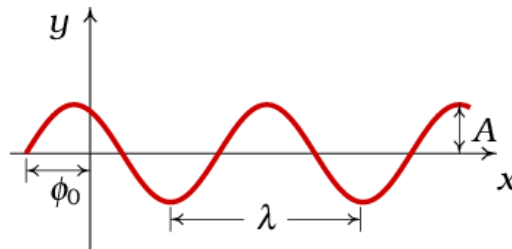


Figura 4-1 - Representação espacial de uma onda sinusoidal. A – Amplitude; λ – Comprimento de onda; ϕ_0 – Fase inicial. (adaptado de Vilate, 2004)

(Lazzarini, 1998; Yost, 2007).

Tendo como modelo uma onda sinusoidal, é possível associar alguns dos parâmetros acima mencionados a determinadas qualidades sensoriais humanas. Assim, a amplitude de uma onda de pressão relaciona-se diretamente com a nossa percepção de intensidade sonora, enquanto a frequência e, conseqüentemente, o período e o comprimento de onda, estão relacionados com a percepção de altura, que indica se o som é grave ou agudo (Lazzarini, 1998). Neste contexto, é ainda de destacar o timbre, uma característica sonora relacionada com a forma da onda e com

o envelope sonoro¹ e que permite distinguir entre sons da mesma frequência, mas produzidos por fontes sonoras distintas (Lazzarini, 1998).

Contudo, a maioria dos sons audíveis não são ondas sinusoidais puras, sendo constituídos pela soma de várias sinusoidais, contendo, portanto, várias frequências. Os sons com estas características designam-se sons complexos. Na figura 4-2 encontra-se representada a onda sonora associada a um som complexo (Yost, 2007).

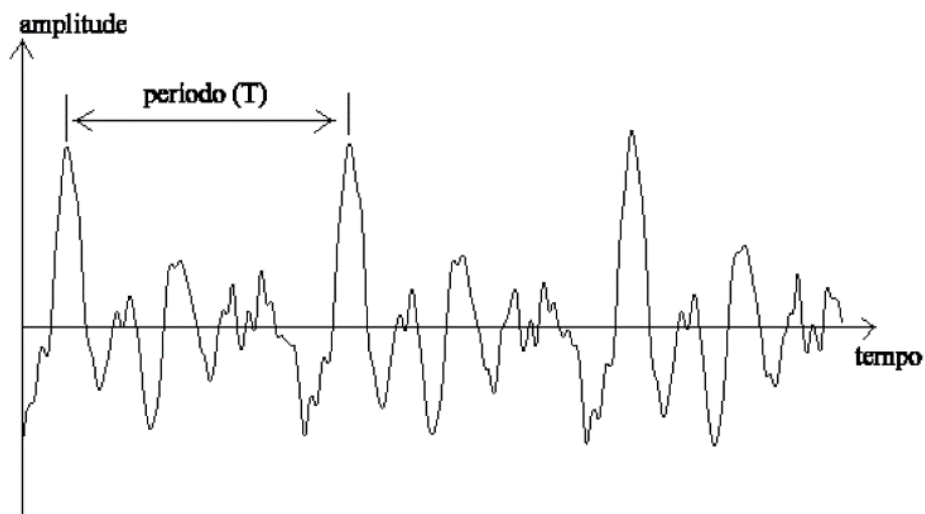


Figura 4-2 – Representação temporal de uma onda sonora periódica produzida por uma viola. (adaptado de Lazzarini, 1998).

A receção física do som pelo ouvido humano está limitada a uma gama de frequências, que se estende, aproximadamente, entre os 20 e os 20000 Hz (Goldstein, 2007). Ainda assim, o ouvido humano apenas consegue captar os sons se a sua intensidade for suficientemente forte. O nível sonoro de um som, expresso geralmente em dB, relaciona a intensidade do mesmo com a intensidade do som mais fraco ouvido pelo ser humano. Assim, a cada frequência corresponde um nível sonoro mínimo necessário para que o som seja ouvido (Goldstein, 2007).

¹ Relacionado com a forma como o som se inicia, se mantém e termina, em função do tempo.

4.2. ANATOMIA E FISIOLOGIA DA AUDIÇÃO

O sistema auditivo é, em geral, dividido em quatro divisões principais: o ouvido externo, médio e interno e o sistema nervoso central auditivo (Yost, 2007). Na figura 4-3 encontram-se representadas as principais estruturas do sistema auditivo.

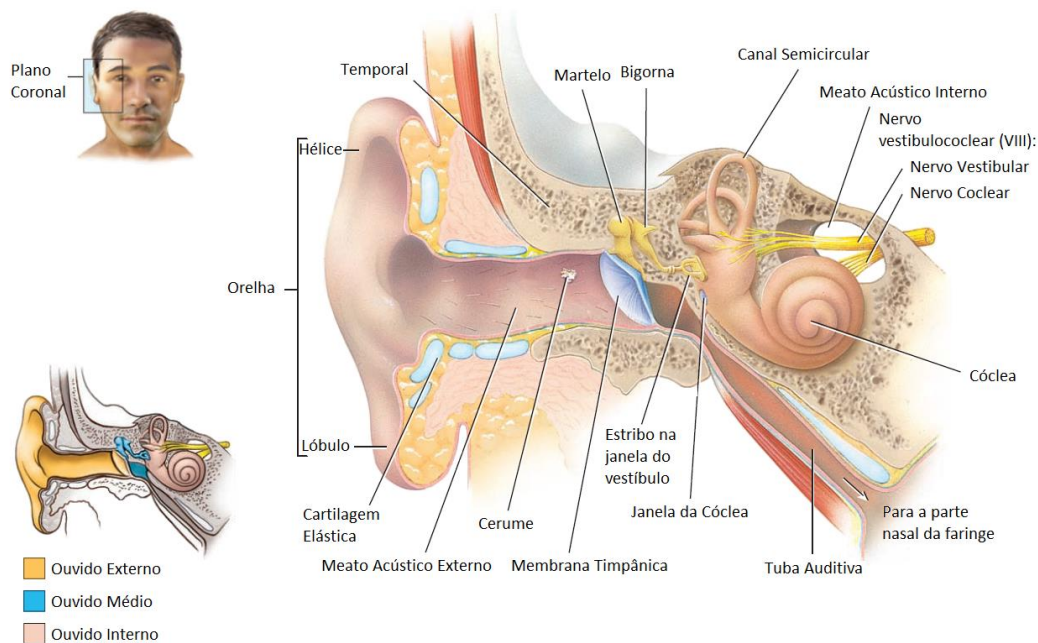


Figura 4-3 – Principais estruturas do ouvido. Tal como indicado no canto superior esquerdo, representa-se um corte coronal através do lado direito do crânio. O ouvido pode ser dividido em três regiões principais: o ouvido externo, constituído pela orelha, pelo meato acústico externo e pela membrana timpânica, tendo a função de captar as ondas sonoras e transportá-las para regiões mais interiores do ouvido; o ouvido médio, que conduz as vibrações sonoras para a janela do vestíbulo e ao longo da qual se encontram os três menores ossos do corpo, os ossículos da audição, nomeados de acordo com a sua forma de martelo, bigorna e estribo; e o ouvido interno, constituído pelo labirinto ósseo externo e pelo labirinto membranáceo interno, circundado pelo primeiro (Tortora e Derrickson, 2009). O labirinto ósseo é composto por uma série de cavidades, situadas na parte petrosa do osso temporal do crânio, que se encontram divididas em três áreas: os canais semicirculares e o vestíbulo, ambos contendo recetores para o equilíbrio, e a cóclea, que inclui os recetores para a audição, as células ciliadas. O labirinto membranáceo é constituído por uma série de sacos e tubos epiteliais, contendo endolinfa no seu revestimento. No canto inferior esquerdo, apresenta-se a divisão de todas estas estruturas em ouvido externo, médio e interno. (adaptado de Tortora e Derrickson, 2009).

É na cóclea que se situam os recetores para a audição, as células ciliadas, aproximadamente 16000 células electromecanicamente sensíveis que geram impulsos nervosos em resposta a

vibrações sonoras (Tortora e Derrickson, 2009; Guyton e Hall, 2006). Na extremidade apical de cada célula ciliada encontram-se cerca de 100 estereocílios, microvilosidades filiformes longas, dispostas em diversas fileiras de comprimento graduado, que se estendem à endolinfa do ducto coclear (Guyton e Hall, 2006). Nas suas extremidades basais, as células ciliadas internas e externas realizam a sinapse com os neurónios sensitivos de primeira ordem e com os neurónios motores do nervo coclear, ramo do nervo vestibulococlear.

4.2.1. MECANISMOS CENTRAIS DA AUDIÇÃO: VIA AUDITIVA

No processo de percepção do som, não se ouve diretamente o objeto vibratório. De facto, este provoca nas moléculas do ar circundante um movimento ondulatório, que, por sua vez, propagado ao longo do espaço aberto até à orelha, induz a vibração do tímpano, que, passando pelas várias estruturas do sistema auditivo, acaba por chegar às células ciliadas (Yost, 2007).

A curvatura dos estereocílios das células ciliadas gera impulsos nervosos nos neurónios sensitivos localizados nos gânglios espirais da cóclea em resposta a vibrações sonoras. Estes neurónios formam o ramo coclear do nervo vestibulococlear. Na parte superior do bulbo, os neurónios de segunda ordem passam, principalmente, para o lado oposto do tronco cerebral e terminam no núcleo olivar superior. A partir do núcleo olivar superior, a via auditiva dirige-se para cima, pelo lemnisco lateral, terminando no colículo inferior, no mesencéfalo. Daí os impulsos nervosos são conduzidos até ao núcleo geniculado medial, no tálamo, continuando até ao córtex auditivo, localizado principalmente no giro superior do lobo temporal (Guyton e Hall, 2006; Tortora e Derrickson, 2009). Todo este processo encontra-se representado na figura 4-4.

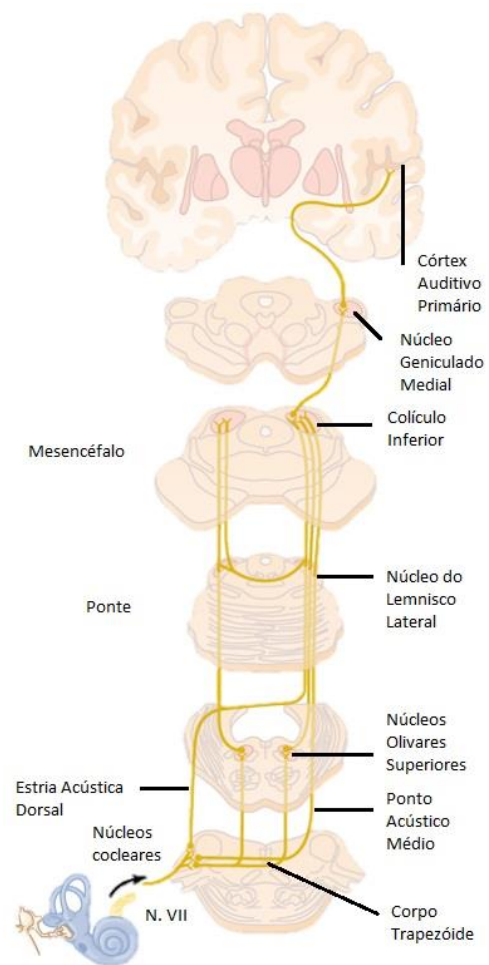


Figura 4-4 - Via auditiva. (adaptado de Guyton e Hall, 2006)

4.3. PERCEÇÃO AUDITIVA

Nas secções anteriores foram descritos os aspetos físicos do som e o modo como esses aspetos são processados pelo sistema auditivo. Estas descrições incluem-se no estudo da sensação. Após a codificação dos atributos básicos dos sons complexos pelo sistema auditivo como propriedade da sensação, a informação neuronal é depois novamente processada de forma a permitir o desenvolvimento da percepção auditiva (Yost, 2007). Assim, os processos a esta associados utilizam a informação sensitiva neural para permitir a determinação das fontes sonoras, a compreensão de um discurso ou a apreciação de uma música. Estes processos devem-se, essencialmente, à capacidade neuronal de associar informações oriundas de várias áreas sensoriais do córtex cerebral, e neles desempenham papéis preponderantes conceitos como a memória e a experiência.

O cérebro humano possui a notável característica de processar uma corrente contínua de informação sensorial a uma velocidade surpreendente, o que apenas é possível devido ao processamento simultâneo dos estímulos que a ele fluem e do conhecimento adquirido em experiências passadas (Sloos, 2015). A capacidade de categorização, que facilita o reconhecimento e a antecipação dos estímulos sensoriais, depende das experiências relevantes e da memória construída ao longo do tempo (Sloos, 2015). De facto, um estudo de Berland et al (2015) demonstrou que existe uma evolução com a idade na construção de categorias cognitivas auditivas para sons naturais, apesar de a base da classificação dos sons já se encontrar presente na infância. A percepção envolve, então, um equilíbrio entre os estímulos sensoriais e as representações gravadas na memória, o que sugere o aparecimento de determinadas tendências na percepção (Sloos, 2015). O treino induzido da plasticidade do cérebro através da formação musical é também um potencial gerador destas tendências (Schneider e Wengenroth, 2009). Todos estes resultados vão ao encontro da questão da percepção modal cruzada¹, que ocorre quando dois ou mais sentidos interagem mutuamente, e, mais especificamente, da sinestesia, condição na qual um estímulo de um sistema sensorial leva à resposta involuntária de outro sentido (Sloos, 2015; Williams et al, 2015).

¹ Do inglês *Cross-modal Perception*.

As diferenças individuais na percepção do som encontram-se refletidas tanto anatômica como funcionalmente (Schneider e Wengenroth, 2009). Podem distinguir-se dois principais tipos de indivíduos quanto à forma como percebem o som: os holísticos ou sintéticos, que reconhecem o som como um todo e apreciam a sua altura e timbre como qualidades características do som completo; e os espetrais ou analíticos, que dividem o som nos seus constituintes harmónicos, captando o timbre do som como um todo (Schneider e Wengenroth, 2009; Bao *et al*, 2013).

4.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOM E QUALIDADES SONORAS PERCEBIDAS

Tendo em mente os factos e conceitos supracitados, Pires (2012) desenvolveu um estudo no sentido de averiguar acerca da existência de uma relação entre sensações auditivas, das quais são feitas empiricamente descrições qualitativas de carácter visual e/ou tátil, e as parametrizações das variáveis físicas da onda sonora que, em certas configurações, pareciam determinar essas sensações. Apesar das dificuldades encontradas, dada a subjetividade e individualidade da percepção auditiva, o estudo evidenciou uma dependência consistente entre as qualidades percebidas e certas características do sinal, tendo sido estes aspetos percebidos de forma semelhante por um grande número de auditores.

O estudo em questão foi realizado por inquérito e através de uma análise cuidada do sinal sonoro e do seu cruzamento com os resultados do inquérito. O inquérito consistiu num questionário no qual se pretendia que cada participante avaliasse alguns sons específicos ao nível das suas qualidades. Para cada som foram propostas questões específicas relativas a um conjunto particular de atributos referentes a três campos de qualidade do sinal sonoro percebido: o campo da matéria, o campo das formas e o campo da posição.

No campo da matéria, os atributos associados às questões propostas foram a cor, a textura e a densidade. A cor está relacionada com a estrutura espectral do som e com sensações de brilho ou transparência. Um som tendencialmente escuro é, geralmente, construído colocando a maior parte da distribuição espectral nas zonas mais graves do espetro. Contrariamente, um som brilhante tende a ter uma distribuição espectral centralizada em zonas mais agudas, além de se verificar para estes sons uma certa estabilidade harmónica espectral. Já um som tendencialmente

baço apresenta um espectro, geralmente, inarmónico. A percepção de uma textura está associada às sensações de superfície, como rugosidades, granulosidades, superfícies lisas, entre outras. Estas características, quando aplicadas ao sinal sonoro, dependem da constituição interna do som, da estrutura percebida e sua variabilidade. Desta forma, pode dizer-se, a título de exemplo, que os sons tendencialmente lisos são construídos mantendo a estabilidade do conteúdo espectral, da altura percebida e da intensidade. Já a percepção da densidade de um som remete para sensações associadas ao conteúdo interno dos sons, à organização espectral percebida, mas também à estrutura interna da matéria. A densidade de um som pode ser caracterizada por uma certa permeabilidade, opacidade ou transparência.

No que respeita ao campo das formas, a forma percebida de um som está relacionada com determinadas particularidades cuja evolução temporal permite a percepção de linhas de contorno no domínio espectral, das alturas e da intensidade. A forma do som pode ser percebida como precisa ou difusa.

A percepção da posição de um som num espaço físico real implica uma análise perceptiva de vários aspetos desse som, realizada de forma intuitiva por processos cognitivos. Esses aspetos estão relacionados com sensações de localização ou deslocamento do som no espaço físico de audição, assim como com a sua intensidade ou altura. Os atributos associados às questões propostas para este campo foram a direcionalidade, a mobilidade e a distância.

Da observação dos resultados do estudo de Pires (2012), concluiu-se que, para a maioria dos sons, é evidente uma tendência na classificação. Ainda assim, e apesar da verificação da existência de uma relação de dependência entre as características físicas do sinal sonoro e as qualidades percebidas, não são ainda claros os eventos desencadeados ao nível da atividade cerebral envolvidos em todo este processo.

4.3.2. LOCALIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS SONORAS

Koelsch *et al* (2005) investigaram a neuroanatomia funcional da percepção do som em crianças e em adultos, com e sem formação musical, recorrendo à técnica de fMRI. Tendo em conta os resultados, o grupo sugeriu uma divisão das estruturas ativadas em quatro redes corticais: 1) uma rede da qual fariam parte o córtex fronto-lateral inferior e o córtex pré-motor ventro-lateral e que estaria envolvida no processamento da estrutura musical; 2) uma rede compreendendo as áreas temporais posteriores, envolvida no processamento do significado musical; 3) uma rede que incluiria o giro supra-marginal e o córtex pré-frontal, relacionada com o exercício da memória; e 4) uma rede englobando o córtex fronto-lateral orbital, e a ínsula anterior, possivelmente envolvida em aspetos emocionais do processamento musical (ver figuras 2-5 e 2-6).

Alluri *et al* (2013) estudaram a evolução temporal da atividade cerebral através da associação da técnica de fMRI a uma técnica de extração de características acústicas do som e com aplicação de estímulos musicais prolongados, em ambiente naturalístico. Além de terem observado uma ativação de várias áreas do cérebro pertencendo a áreas auditivas, límbicas e motoras, foi ainda possível aos investigadores concluir acerca da localização do processamento das características extraídas, estando as características do timbre associadas às áreas auditiva e somatomotora e as características rítmicas de ordem superior e a tonalidade às áreas límbicas do cérebro, como a amígdala, o hipocampo, o tálamo, o hipotálamo e o tronco cerebral (ver figura 2-3). Identificaram ainda uma região do giro temporal superior direito, ilustrado na figura 4-5, envolvendo o plano polar e o giro de Heschl, como sendo a estrutura central de processamento de características acústicas complexas.

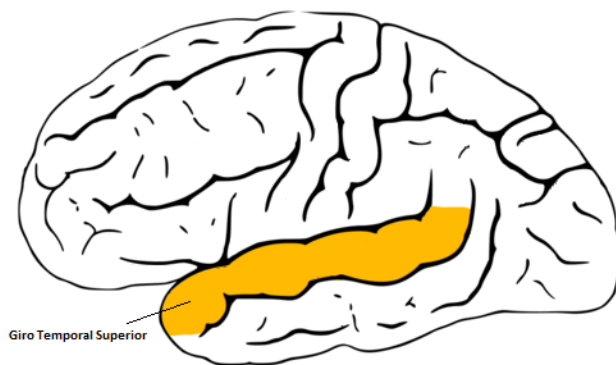


Figura 4-5 – Localização do giro temporal superior. (adaptado de Gray, 2010)

5. FUNDAMENTOS DE PROCESSAMENTO DE DADOS

Após a recolha de qualquer tipo de dados, é necessário processá-los de forma a extrair informações que permitam proceder à sua análise e discussão.

O presente capítulo apresenta os fundamentos teóricos de algumas técnicas de processamento utilizadas ao longo deste projeto.

5.1. PROCESSAMENTO DE SINAL EEG

5.1.1. ANÁLISE EM COMPONENTES INDEPENDENTES

A Análise em Componentes Independentes (ICA, do inglês *Independent Component Analysis*) está inserida num conjunto de métodos utilizados para a resolução de problemas de Separação Cega de Fontes¹, que consiste na recuperação de uma série de sinais, denominados **fontes**, a partir de observações que são **misturas** dessas fontes, sendo o sistema de mistura desconhecido (Almeida, 2013). Este tipo de problemas tem como base um modelo estatístico de variáveis latentes, ou seja, que não são observadas diretamente, mas inferidas através de propriedades de outras variáveis observadas (Hyvärinen e Oja, 2000). De forma a melhor entender este conceito, tome-se o exemplo dado por Hyvärinen e Oja (2000), o problema *cocktail-party*: imagine-se duas pessoas a conversar em simultâneo numa sala com dois microfones em localizações diferentes. O registo em cada microfone resulta da soma ponderada dos discursos de cada um dos indivíduos, designados $s_1(t)$ e $s_2(t)$, sendo t representativo do índice de tempo. Sejam $x_1(t)$ e $x_2(t)$ os registos feitos pelos dois microfones, estes podem ser representados através das seguintes equações lineares:

¹ Do inglês *Blind Source Separation*.

$$x_1(t) = a_{11}s_1 + a_{12}s_2 \quad (5.1)$$

$$x_2(t) = a_{21}s_1 + a_{22}s_2 \quad (5.2)$$

onde a_{11} , a_{12} , a_{21} e a_{22} são parâmetros que dependem das características de propagação dos sons até aos microfones. De forma a ser possível estimá-los, é necessária alguma informação relativa às propriedades estatísticas dos sinais $s_i(t)$, sendo suficiente assumir que, a cada instante t , $s_1(t)$ e $s_2(t)$ são estatisticamente independentes (Hyvärinen e Oja, 2000). As variáveis aleatórias $s_1(t)$ e $s_2(t)$ são consideradas independentes se $s_1(t)$ não contiver qualquer informação sobre $s_2(t)$ e vice-versa (Hyvärinen e Oja, 2000; Almeida, 2013). É desta suposição que a técnica ICA se serve para separar os dois sinais originais $s_1(t)$ e $s_2(t)$ dos registos $x_1(t)$ e $x_2(t)$.

Este raciocínio é análogo ao de um registo de EEG. De facto, estes registos são compostos pela gravação de diversos potenciais elétricos em diversas localizações do escalpe, resultando de uma mistura de atividade elétrica cerebral e muscular. Assumindo a independência estatística entre as fontes, é possível, através da ICA, separar as componentes de sinal neuronal das componentes de sinal muscular, associadas a artefactos, que compõem o registo de EEG.

Com base nos conceitos supracitados, e definindo rigorosamente o método ICA, se forem observadas n variáveis aleatórias x_1, \dots, x_n que representam o sinal medido por um sensor, tem-se que cada sinal x_i pode ser representado por (Hyvärinen e Oja, 2000):

$$x_i(t) = a_{i1}s_1 + a_{i2}s_2 + \dots + a_{in}s_n, \quad j = 1, \dots, n \quad (5.3)$$

onde a_{ij} são os coeficientes de mistura e s_j são as componentes independentes, ou seja, os sinais originais provenientes da fonte. Sem perda de generalidade, pode assumir-se que os coeficientes de mistura e as componentes independentes têm média nula (Hyvärinen e Oja, 2000). Caso isto não se verifique, as variáveis observadas x_i podem ser centradas através da subtração da média.

Geralmente, é conveniente utilizar uma notação matricial em lugar do somatório acima representado, nomeadamente quando o problema envolve um número elevado de observações e fontes. Assim, assumindo que se observam n misturas lineares de m sinais originais e seja: x o vetor coluna com as observações x_1, \dots, x_n ; s um vetor com os sinais originais, isto é, com as fontes s_1, \dots, s_m ; e A a matriz com os elementos a_{ij} , designada matriz de mistura; tem-se:

$$x = A \cdot s \quad (5.4)$$

Após a estimação de A , é possível calcular a sua inversa, W , denominada matriz de separação, de forma a obter as componentes independentes, sendo que:

$$s = W \cdot x \quad (5.5)$$

Esta definição do modelo, considerada a mais simplista, encontra-se representada na figura 5-1 (Hyvärinen e Oja, 2000).

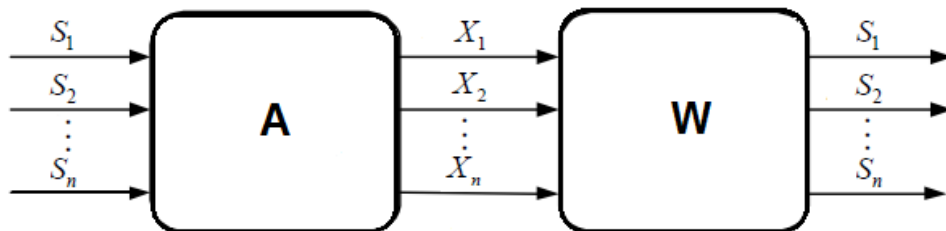


Figura 5-1 - Modelo de mistura e de separação da análise de componentes independentes, sendo S_1, S_2, \dots, S_n as componentes independentes, A a matriz de mistura. X_1, X_2, \dots, X_n os sinais observados, e W a matriz de separação. (adaptado de Leite, 2013).

A ICA tem-se revelado extremamente versátil em diversas aplicações (Hyvärinen e Oja, 2000). Uma das suas principais vantagens é o seu potencial de extração das fontes de ruído em componentes separadas, permitindo a sua remoção e, portanto, a reconstrução do sinal apenas com as componentes de interesse. Desta forma, este método é amplamente utilizado para remoção de ruído em sinal e imagem (Hyvärinen e Oja, 2000). Uma outra vantagem da utilização da ICA é o facto de esta permitir a escolha do número de componentes calculado pelo algoritmo, através da alteração da dimensão da matriz de separação, podendo este ser, portanto, igual ou inferior ao número de sinais observados (Tibaduiza *et al*, s.d.; Bugli e Lambert, 2016).

ALGORITMO *FASTICA*

O algoritmo *fastICA*, desenvolvido por Aapo Hyvärinen, e seus colaboradores, na Universidade Técnica de Helsínquia, faz uso de um método de iteração de ponto fixo¹, que estima as componentes independentes através do cálculo da máxima não-Gaussianidade das projeções.

¹ Supondo uma função $f(x)$ definida para $x \in R$, a iteração de ponto fixo procura encontrar um ponto fixo p da função $f(x)$ tal que $p = f(p)$. A iteração é dada por $x_{k+1} = f(x_k)$.

Note-se que esta formulação é equivalente à maximização da neguentropia das mesmas estimativas (Hyvärinen e Oja, 2000).

Do Teorema do Limite Central (TLC) sabe-se que a soma de variáveis aleatórias Independentes e Identicamente Distribuídas (IID) tende a ter uma distribuição Gaussiana, quando o número de variáveis aleatórias tende para infinito¹. Esta afirmação é verdadeira para qualquer distribuição inicial, em particular para distribuições não-Gaussianas. Assim, sabe-se que a combinação linear das observações, ou seja, das misturas, que maximize a não-Gaussianidade da distribuição resultante corresponderá à identificação de uma das variáveis aleatórias IID originais.

A neguentropia é uma versão normalizada da entropia, de tal forma que é sempre positiva e diferente de zero para uma variável Gaussiana. A entropia de uma variável aleatória pode ser interpretada como o grau de informação que surge da observação da variável. Quanto mais aleatória, ou seja, imprevisível e não estruturada, a variável é, maior é a sua entropia (Hyvärinen e Oja, 2000). A neguentropia, J , é definida, para a variável aleatória y , por (Hyvärinen e Oja, 2000):

$$J(y) = H(y_{gauss}) - H(y) \quad (5.6)$$

onde y_{gauss} é uma variável gaussiana aleatória com a mesma covariância da matriz y .

A vantagem da utilização da neguentropia como medida da não-Gaussianidade prende-se com o facto de esta estar muito bem fundamentada do ponto de vista teórico, sendo a estimativa ótima da não-Gaussianidade (Hyvärinen e Oja, 2000). No entanto, a aplicação computacional deste conceito é difícil, sendo bastante úteis algumas aproximações mais simples do mesmo (Hyvärinen e Oja, 2000).

A aproximação utilizada no algoritmo *fastICA* é dada por:

$$J(y) \propto [E\{G(y)\} - E\{G(v)\}]^2 \quad (5.7)$$

onde v é uma variável Gaussiana de média zero e variância um, y uma variável de média zero e variância um, G uma função não quadrática que permite ajustar a maximização da não-Gaussianidade e $E\{G\}$ o valor esperado de G .

¹ Neste contexto, o conceito de infinito é atingido apenas para quatro/cinco variáveis aleatórias.

5.1.2. DENSIDADE ESPETRAL DE POTÊNCIA

A Densidade Espectral de Potência (PSD, do inglês *Power Spectral Density*) $S_x(f)$ de uma série temporal descreve a distribuição da potência do sinal em função da frequência e pode ter duas interpretações, abaixo descritas (Veerarajan, 2002; Howard, 2004; Dinis, s.d.).

Um sinal de potência, $x(t)$, é caracterizado por uma potência média finita, P_x , tal que:

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt \quad (5.8)$$

A forma mais simples de definir a PSD implica assumir que o sinal de duração infinita é o limite de um sinal de duração finita, isto é:

$$x(t) = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} x_{T_0}(t) \quad (5.9)$$

Sendo $x_{T_0}(t)$ dado por:

$$x_{T_0}(t) = \begin{cases} x(t), & |t| < T_0 \\ 0, & |t| \geq T_0 \end{cases} \quad (5.10)$$

Assim, tem-se que a média da potência passa a ser definida por:

$$P_x = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2T_0} \int_{-\infty}^{\infty} |x_{T_0}(t)|^2 dt \quad (5.11)$$

Do teorema de Rayleigh tem-se que:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x_{T_0}(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X_{T_0}(f)|^2 df \quad (5.12)$$

sendo $X_{T_0}(f)$ a Transformada de Fourier (TF) do sinal $x_{T_0}(t)$.

Assim, a média da potência pode ser novamente reescrita em termos de frequência para:

$$P_x = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2T_0} \int_{-\infty}^{\infty} |X_{T_0}(f)|^2 df \quad (5.13)$$

A convergência do integral permite a inclusão do limite dentro do integrando, trocando a ordem das operações de limitação e de integração, e, por conseguinte, a PSD de $x(t)$ é dada por:

$$S_x(f) = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2T_0} |X_{T_0}(f)|^2 \quad (5.14)$$

Regra geral, a energia do sinal $x_{T_0}(t)$ associada ao sinal de potência cresce aproximadamente de forma linear com T_0 , pelo que o limite associado à PSD existe e é finito. No entanto, a computação desta aproximação torna-se difícil, uma vez que, para a maior parte dos sinais de potência, é difícil obter $X_{T_0}(f)$ e/ou o limite associado à PSD, além de que, para alguns sinais, o limite pode ser infinito (Dinis, s.d.). De forma a colmatar este problema, define-se uma função de autocorrelação para os sinais de potência, podendo definir-se a PSD como sendo a TF da sua função de autocorrelação:

$$S_x = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (5.15)$$

sendo $R_x(\tau)$ a função de autocorrelação de $x(t)$, dada por:

$$R_x(\tau) = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2T_0} \int_{-T_0}^{T_0} x(t) x^*(t - \tau) dt \quad (5.16)$$

A densidade espectral é uma função da frequência e não do tempo. No entanto, pode calcular-se a densidade espectral em curtos intervalos de um sinal e representá-la graficamente em função do tempo. Tal gráfico denomina-se espectrograma e é a base de uma série de técnicas de análise espectral, nomeadamente a TF de tempo curto.

5.1.3. FILTROS DIGITAIS

Através dos desenvolvimentos de Fourier demonstrou-se que qualquer sinal pode ser decomposto numa soma de sinais periódicos (Silva, s.d.). Esta decomposição define o espectro de um sinal, indicando as frequências dominantes do sinal. A filtragem de sinais trata-se do tratamento diferenciado das diversas componentes que constituem um sinal, de acordo com o seu valor de frequência.

O desenho de filtros tem dois propósitos fundamentais: a separação de sinal, necessária quando o sinal se encontra contaminado com interferência, ruído ou outros sinais, e a restauração de sinal, utilizada quando o sinal foi distorcido de alguma forma (Smith, 1999). Estas duas operações podem ser desempenhadas tanto através de filtros digitais como com recurso a filtros analógicos.

Em processamento de sinal, um filtro digital é um sistema que utiliza um processador para realizar cálculos numéricos sobre um sinal amostrado e discreto no tempo (*Introduction to Digital Filters*, s.d.). Este tipo de filtros contrasta com o outro grande tipo de filtros eletrônicos, o filtro analógico, que é composto por um circuito eletrônico e opera com sinais analógicos contínuos no tempo. Apesar de os filtros analógicos apresentarem vantagens no que respeita aos custos, à rapidez e à faixa dinâmica, tanto em amplitude como em frequência, os filtros digitais são amplamente superiores ao nível do desempenho atingido (Smith, 1999).

Tal como se ilustra na figura 5-2, num filtro digital, o sinal de entrada, analógico, é, numa primeira fase, amostrado e digitalizado utilizando um CAD. Os valores binários resultantes, representando as sucessivas amostras do sinal de entrada, são, então, transferidos para o processador, que realiza os cálculos numéricos sobre eles. Se necessário, os resultados destes cálculos, que representam os valores amostrados do sinal filtrado, são enviados para um Conversor Digital-Analógico (CDA) com o intuito de converter o sinal novamente para a forma analógica (*Introduction to Digital Filters*, s.d.).

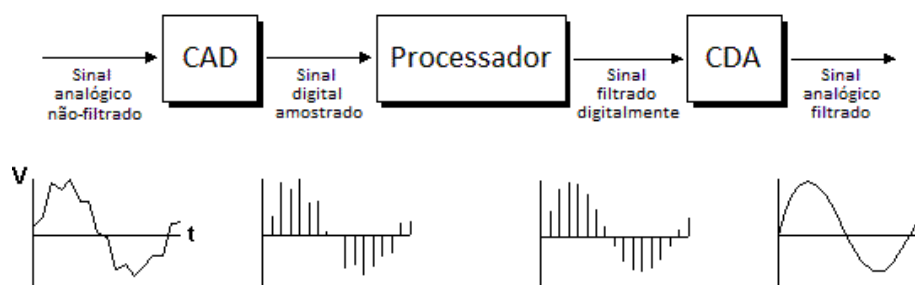


Figura 5-2 – Configuração de um sistema de filtragem digital, incluindo uma representação exemplificativa de um sinal analógico não-filtrado, do sinal digital amostrado, após a passagem no Conversor Analógico-Digital, do sinal filtrado através de um filtro digital, aplicado no processador, e do sinal analógico filtrado, após a passagem no CDA. (adaptado de *Introduction to Digital Filters*, s.d.).

Todos os filtros lineares têm uma resposta ao impulso, uma resposta ao degrau, que descreve a forma como a informação representada no domínio do tempo está a ser modificada pelo sistema, e uma resposta em frequência, que representa a amplificação ou atenuação sofrida por cada componente do domínio da frequência na passagem pelo sistema (Smith, 1999).

De acordo com a sua resposta ao impulso, distinguem-se dois tipos principais de filtros digitais: os filtros de Resposta Impulsiva Finita (RIF), implementados através da convolução do sinal de

entrada com a resposta ao impulso do filtro digital, e os filtros de Resposta Impulsiva Infinita (RII), que são filtros recursivos, ou seja, utilizam os valores de saída em lugar dos valores de entrada (Smith, 1999).

No que respeita à resposta em frequência, é possível definir quatro tipos básicos de filtros, ilustrados na figura 5-3, de acordo com a gama de frequências que amplificam e rejeitam: filtro passa-baixo, filtro passa-alto, filtro passa-banda e filtro rejeita-banda (Silva, s.d.). O funcionamento destes filtros passa por permitir a passagem de determinadas frequências, enquanto outras são completamente bloqueadas. Assim, a banda de passagem refere-se às frequências que passam inalteradas, a banda de rejeição contém as frequências bloqueadas e a banda de transição é a que se encontra entre as duas últimas (Smith, 1999). A divisão entre a banda de passagem e de transição é denominada frequência de corte.

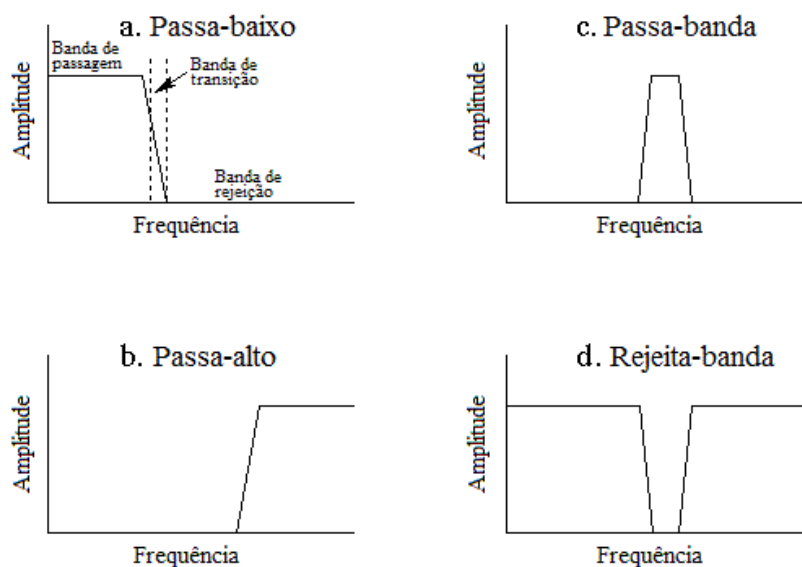


Figura 5-3 – Respostas em frequência associadas aos filtros (a) passa-baixo, que apresenta amplificação constante desde a frequência 0 até um valor de frequência de corte a partir do qual as componentes espectrais dos sinais são rejeitadas; (b) passa-alto, que é complementar do filtro passa-baixo, rejeitando as componentes de baixa frequência e amplificando todas as frequências superiores à frequência de corte; (c) passa-banda, que apresenta amplificação de uma banda intermédia de frequências rejeitando as componentes inferiores à frequência de corte da esquerda e superiores à frequência de corte da direita; e (d) rejeita-banda, que é complementar ao filtro passa-banda, apresentando rejeição da banda intermédia de frequências, amplificando as restantes componentes. (adaptado de Smith, 1999)

É frequente utilizar protótipos de filtros analógicos para o desenho de filtros RII, uma vez que estes se encontram já bem consolidados. Os filtros analógicos mais populares são os filtros *Butterworth*, *Chebyshev*, *Elliptical*, e *Bessel* (Silva, s.d., Kester, 2002).

FILTRO BUTTERWORTH

Os filtros *Butterworth* constituem uma classe simples e particularmente útil de entre os filtros supracitados (Oppenheim *et al*, 1997). Os filtros desta classe são especificados por dois parâmetros: a frequência de corte e a ordem do filtro (Oppenheim *et al*, 1997). A resposta em frequência da banda de passagem destes filtros apresenta-se o mais plana matematicamente possível e a forma da transição da banda de passagem para a banda de rejeição é estabelecida pela ordem do filtro, tal como se encontra representado na figura 5-4 (Silva, s.d.; Oppenheim *et al*, 1997). Note-se que, quanto maior a ordem do filtro, maior o número de fases em cascata associadas ao desenho do filtro, e mais o filtro se aproxima da resposta ideal.

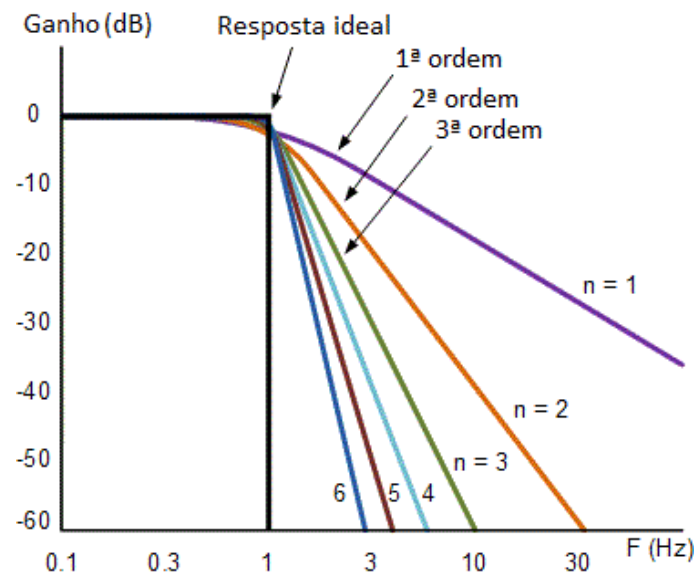


Figura 5-4 – Respostas em frequência de um filtro passa-baixo Butterworth de ordens 1 a 6, sendo que o ganho se encontra representado em escala logarítmica e a frequência se encontra normalizada. (adaptado de *Butterworth Filter Design*, s.d.)

5.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.2.1. TESTE T DE STUDENT

A média de uma amostra é uma das suas características mais relevantes a nível estatístico, sendo, por vezes, necessário tomar decisões a seu respeito, nomeadamente quando são comparadas duas amostras. Para comparar a média de duas amostras, é comum utilizar-se o teste t de *Student*.

O teste t de *Student*, ou apenas teste t , que pode ser utilizado para amostras independentes ou emparelhadas, é um teste de hipóteses que faz uso de conceitos estatísticos para rejeitar, ou não, uma hipótese nula, quando a estatística de teste segue uma distribuição t -*Student*. Esta premissa é normalmente utilizada quando a estatística de teste segue uma distribuição normal, mas a variância da população é desconhecida. Neste caso, é usada a variância amostral e, com esse ajuste, a estatística de teste passa a seguir uma distribuição t -*Student*.

O teste t consiste, então, em formular uma hipótese nula e, consequentemente, uma hipótese alternativa, e calcular o valor da estatística de teste, t , através da equação 5.17:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_X}{\sqrt{n}}} \quad (5.17)$$

onde \bar{X} representa a média da amostra, μ_0 o valor utilizado para comparação com a média da amostra e S_X o desvio padrão amostral e n o tamanho da amostra.

Em seguida, representa-se o valor de t na função densidade de probabilidade da distribuição t -*Student* e calcula-se a área abaixo do gráfico para valores maiores ou iguais a t , menores ou iguais a t ou ambos, conforme a hipótese nula considerada. Ou seja, dependendo da definição da hipótese nula, deve ser utilizada uma ou as duas caudas da distribuição t -*Student*. Se a hipótese nula for:

$$\bar{X} \leq \mu_0 \quad (5.18)$$

e a hipótese alternativa:

$$\bar{X} > \mu_0 \quad (5.19)$$

o teste deve ser realizado apenas para valores superiores a t e, portanto, ao consultar a função densidade de probabilidade da distribuição *t-Student*, deve considerar-se apenas a área superior a t , ou seja, apenas uma das caudas da distribuição, tal como se ilustra na figura 5-5.

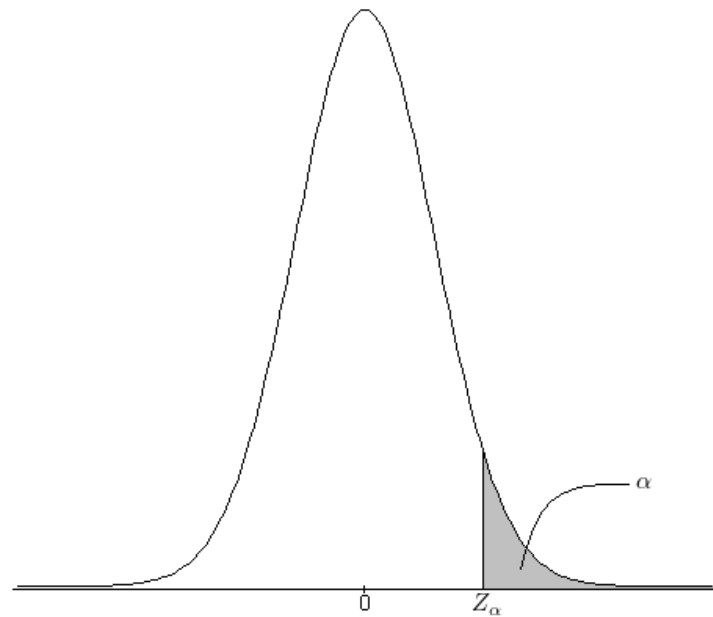


Figura 5-5 – Função densidade de probabilidade de t de Student para uma distribuição unicaudal à direita, incluindo a representação do valor t , representado Z_α , e do valor p , representado por α . (adaptado de *Teste T Pareado*, s.d.).

Por outro lado, se a hipótese nula for:

$$\bar{X} = \mu_0 \quad (5.20)$$

e, consequentemente, a hipótese alternativa:

$$\bar{X} \neq \mu_0 \quad (5.21)$$

É necessário avaliar a probabilidade simultânea de $\bar{X} < \mu_0$ e $\bar{X} > \mu_0$. Desta forma, deve ser considerada a área abaixo da curva para valores superiores e inferiores a t , ou seja, as duas caudas da distribuição, tal como se ilustra na figura 5-6.

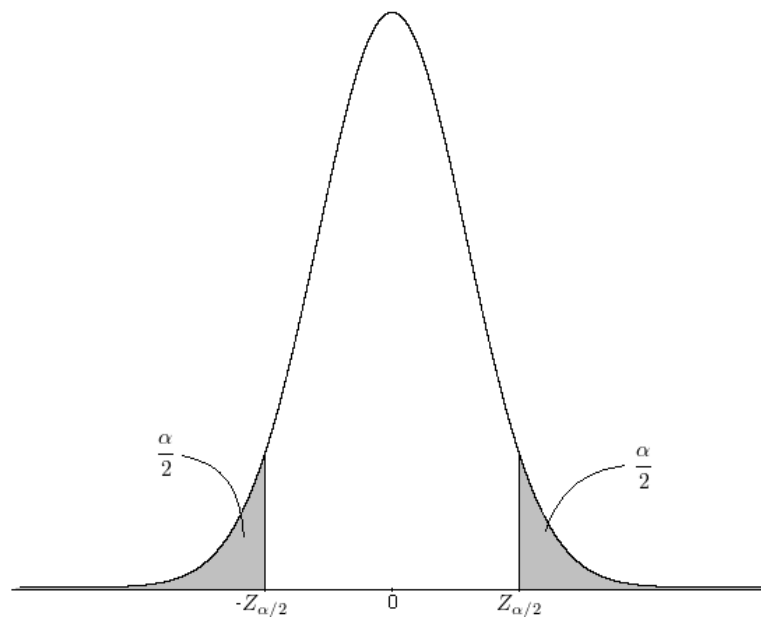


Figura 5-6 – Função densidade de probabilidade de t de Student para uma distribuição bicaudal, incluindo a representação de t , de α , o nível de confiança, e do valor p . (adaptado de *Teste T Pareado*, s.d.).

A área calculada, denominada valor p , representa a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada quando a hipótese nula é verificada. Para se poder rejeitar, ou não, a hipótese nula, define-se um nível de significância: se o valor p for menor que o nível de significância, a hipótese nula é rejeitada; caso contrário, a hipótese nula não é rejeitada. É comum utilizar-se um nível de significância de 5%. Assim, se a área abaixo da função densidade de probabilidade da distribuição t -Student for menor do que 5%, pode afirmar-se que a hipótese nula é rejeitada com nível de confiança de 95%.

No caso da utilização do teste t para comparação de médias, a hipótese nula constitui a hipótese de as médias de duas amostras distintas não serem significativamente diferentes. Assim, sendo rejeitada a hipótese nula, pode afirmar-se que existe uma diferença significativa entre as médias das duas amostras; caso contrário, não é possível fazer esta inferência.

6. METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar a forma como os estímulos auditivos e as suas características alteram a dinâmica da atividade espontânea cerebral, o projeto exposto ao longo deste documento visa, de um modo geral, adquirir e analisar registos eletroencefalográficos de indivíduos com e sem formação musical específica, obtidos aquando da sua estimulação auditiva. Ao longo do presente capítulo será feita uma apresentação da metodologia adotada, de forma a cumprir os objetivos propostos.

6.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Participaram neste estudo, de forma voluntária, um total de 16 sujeitos saudáveis, tendo estes sido alertados previamente acerca dos objetivos e procedimentos a ele associados. Os voluntários foram ainda informados de que eram livres de abandonar a experiência em qualquer momento, caso sentissem algum desconforto. No processo de seleção da amostra, foram tidos em consideração alguns fatores que pudessem comprometer os resultados do estudo, nomeadamente o histórico de patologias neurológicas e o consumo de substâncias relevantes nas duas horas anteriores ao início do procedimento experimental.

A amostra final divide-se em frações equivalentes de estudantes pertencentes à FCT e à FCSH, tendo sido garantido, na medida do possível, um emparelhamento no tocante à idade, género e grau de formação académica, diferindo os dois tipos de participantes apenas na formação auditiva. Assim, entre os 16 voluntários, com idades compreendidas entre os 19 e os 23 anos, sendo a média de $20,8 \pm 1,4$ anos, distinguem-se 10 elementos do género feminino, 5 estudantes da FCT e 5 estudantes da FCSH, e 6 do género masculino, 3 estudantes da FCT e 3 estudantes da FCSH. Foi ainda avaliada a dominância manual da amostra, sendo esta constituída por 12 destros e 3 canhotos, tendo havido um voluntário que se considerou ambidestro.

No que respeita ao nível de formação musical, foram estabelecidos três grupos distintos: indivíduos com treino musical intensivo, músicos amadores e indivíduos sem formação musical.

No total da amostra considerada, 6 indivíduos consideraram ter treino musical intensivo, 7 designaram-se músicos amadores e 3 alegaram não ter formação musical.

6.2. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTÍMULOS AUDITIVOS

Os sons utilizados como estímulos auditivos faziam já parte de uma biblioteca de sons criada pela Professora Isabel Pires, co-orientadora do projeto, no seguimento de um estudo prévio, já mencionado no capítulo anterior. No entanto, e uma vez que os sons existentes apresentavam uma duração demasiado curta para uma avaliação da atividade espontânea do cérebro, foi necessário aumentar a sua duração para 20 segundos.

Os estímulos foram sintetizados e modificados artificialmente recorrendo à linguagem de programação de síntese digital Csound (<http://www.csounds.com/>). Esta linguagem de programação é considerada uma das mais eficazes em termos de síntese digital de sinal sonoro, sendo bastante utilizada na criação de música, principalmente música acusmática (Vercoe *et al*, 2008). Entre as suas principais vantagens, que apoiaram a opção da sua utilização neste projeto, destaca-se o facto de ser uma ferramenta extremamente poderosa, de acesso livre e fácil de manobrar (Vercoe *et al*, 2008).

Foram selecionados um total de 12 estímulos auditivos, 8 dos quais objetivavam inferir acerca de características do campo da matéria, nomeadamente a cor, a textura e a densidade. Os restantes 4 associam-se a características do campo da posição, nomeadamente a direcionalidade, a mobilidade e a distância. Esta seleção baseou-se nos resultados do estudo experimental de Pires (2012), realizado por inquérito, tendo sido escolhidos aqueles que apresentavam tendências mais significativas na sua classificação por parte da população em causa. Nas tabelas 6-1 e 6-2 encontram-se esquematizadas as características dos sons escolhidos, separadamente para os sons associados ao campo da matéria e ao campo da posição e segundo os resultados do estudo supracitado.

Tabela 6-1 – Qualidades dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características relativas ao campo da matéria, segundo os resultados do estudo de Pires (2012).

	Cor	Textura	Densidade
Som 1	Claro	Liso	Baixa
Som 2	Baço	Estriado	Elevada
Som 3	Brilhante	Granuloso	Baixa
Som 4	Escuro	Liso	Média
Som 5	Claro	Granuloso	Baixa
Som 6	Baço	Rugoso	Média
Som 7	Brilhante	Estriado	Elevada
Som 8	Escuro	Rugoso	Média

Tabela 6-2 – Qualidades dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características relativas ao campo da posição, segundo os resultados do estudo de Pires (2012).

	Direcionalidade	Mobilidade	Distância
Som 9	Não direcional	Em movimento	Próximo
Som 10	Direcional	Em movimento	Distante
Som 11	Não direcional	Imóvel	Distante
Som 12	Direcional	Inconclusivo	Próximo

À exceção do som 1, que se trata de uma senoide pura, e do som 8, que se trata de uma gravação no metro, todos os outros sons envolveram processos de síntese diversos. O som 5 resulta da aplicação de processos de filtragem e granulação¹ a um registo da abertura de um agraphador e o som 10 resulta da aplicação de processos de granulação a um registo de queda de água. Todos os restantes sons foram construídos através de processos de síntese pura.

Podem identificar-se dois grupos principais de sons no que respeita à análise espectral: aqueles cujas frequências se restringem a uma determinada região do espectro e aqueles que apresentam frequências em praticamente todo o espectro. Assim, neste último grupo inserem-se os sons 3, 5, 9 e 11, sendo o primeiro grupo constituído por todos os outros sons: 1,2,6,7,8,10

¹A síntese granular é um processo de síntese sonora que se baseia na segmentação de um som pré-existente em partículas curtas, de duração geralmente compreendida entre os 7 e os 30 milissegundos, a partir das quais são criadas texturas sonoras diversas.

e 12. No que respeita à forma de onda, a grande maioria dos sons apresenta formas de onda complexas, sendo que apenas os sons 1, 4, 6 e 7 apresentam uma forma de onda mais estável ao longo do tempo. A título ilustrativo, apresenta-se na figura 6-1 a análise espectral e da forma de onda do som 2, encontrando-se no Anexo I a análise dos restantes sons. A análise espectral e da forma de onda dos sons foi feita com recurso ao programa *Sonic Visualiser* (<http://www.sonicvisualiser.org/>), uma aplicação para visualizar e analisar o conteúdo de ficheiros de áudio.

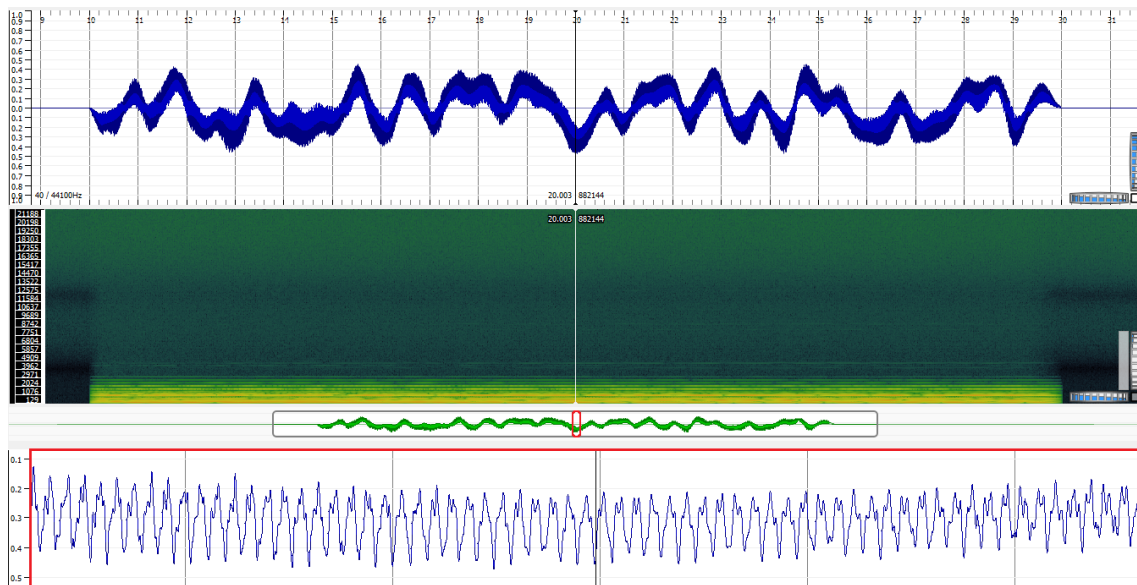


Figura 6-1 - Forma de onda do som 2, em cima, e respetivo espectrograma, imediatamente em baixo. Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

É ainda de notar as diferenças entre os sons no que respeita à intensidade: os sons 1, 3, 6 e 7 são sons estáticos, enquanto os restantes sons apresentam intensidade variável.

6.3. CONFIGURAÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A aquisição dos registos de atividade cerebral foi realizada, ao longo do mês de Junho de 2016, no LIM, FCSH, que permite condições ambientais controladas e adequadas no que respeita à temperatura, à iluminação e ao isolamento sonoro.

Cada aquisição foi realizada, tal como se ilustra nas figuras 6-2 e 6-3, com o sujeito sentado confortavelmente numa cadeira posicionada a uma distância de 1,95 m de cada uma das colunas, direita e esquerda, e a, aproximadamente, 50 cm de um monitor que exibia uma cruz branca centrada num ecrã de fundo preto. A cadeira foi ainda disposta de forma a que a zona de controlo do processo não fizesse parte do campo de visão do sujeito.

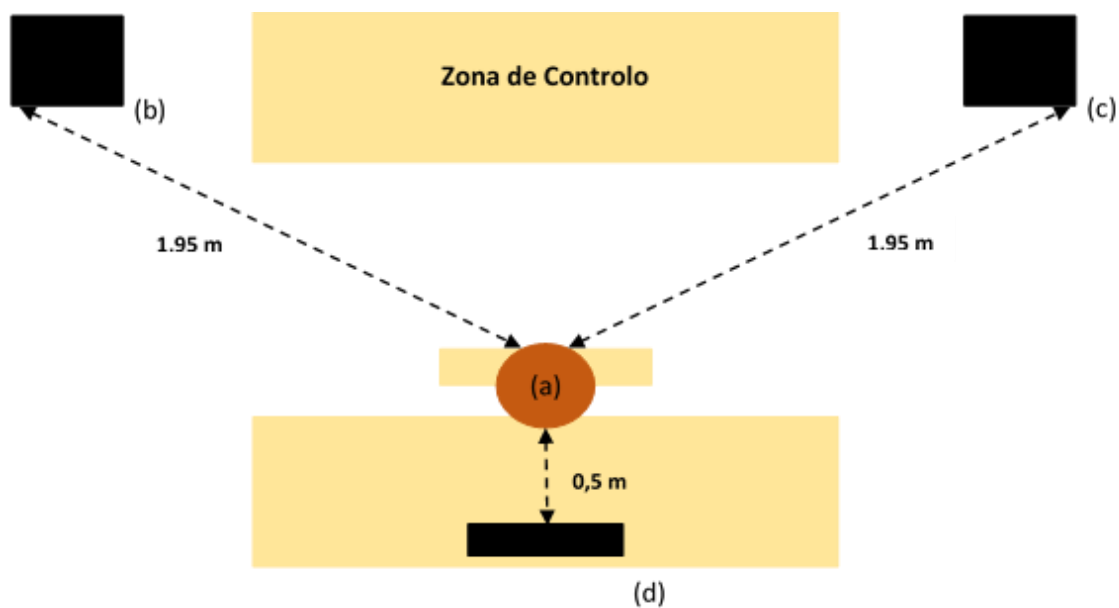


Figura 6-2 - Configuração experimental, incluindo a zona de controlo; (a) o sujeito a realizar a atividade experimental; (b) a coluna direita; (c) a coluna esquerda; (d) o ecrã exibindo uma cruz branca centrada num ecrã de fundo preto.

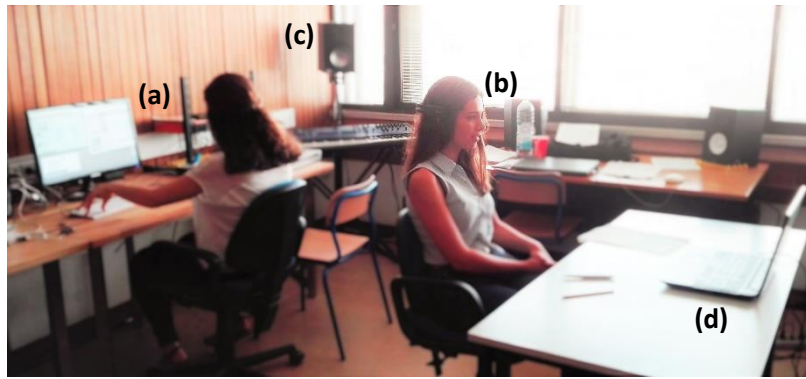


Figura 6-3 - Fotografia tirada no LIM durante o procedimento experimental, num intervalo entre aquisições. A fotografia ilustra (a) a zona de controlo, (b) o sujeito a realizar a atividade experimental; (c) a coluna esquerda; (d) o ecrã exibindo uma cruz branca centrada num ecrã de fundo preto.

Para a aquisição dos registos da atividade cerebral optou-se pela utilização da técnica de Eletroencefalografia, principalmente, devido à sua elevada resolução temporal, da ordem do milissegundo, sendo, portanto, adequada para o estudo de mudanças rápidas na atividade neuronal. Complementarmente, destaca-se o facto de ser um aparelho silencioso, o que permite um estudo mais fiável das respostas a estímulos auditivos (Zion-Golumbic, s.d.; Min e Luo, 2009).

Os sinais EEG foram registados com recurso ao equipamento Emotiv EPOC, adquirido pelo LIM. Apesar de alguns estudos atribuírem um baixo desempenho a este dispositivo em comparação com os equipamentos tradicionais, o sistema Emotiv - Brainwear® EPOC (<http://emotiv.com/epoc/>), ilustrado na figura 6-4, surge como uma excelente alternativa de baixo-



Figura 6-4 – Equipamento Emotiv EPOC.

custo para aplicações em pesquisa científica, tendo uma resolução relativamente elevada e sendo de fácil transporte (Khushaba *et al*, 2012; Boutani e Ohsuga, 2013; Duvinage *et al*, 2013; Hairston *et al*, 2014; Badcock *et al*, 2015).

O equipamento Emotiv EPOC tem disponíveis 14 canais para aquisição de sinal EEG e um giroscópio que obtém informação acerca do seu posicionamento. Os 14 canais correspondem, segundo o sistema internacional 10/20, aos canais AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 e AF4, representados na figura 6-5. A referência é calculada recorrendo a um método de cancelamento de ruído que faz uso de um eletrodo ativo, ou seja, que incorpora um circuito que

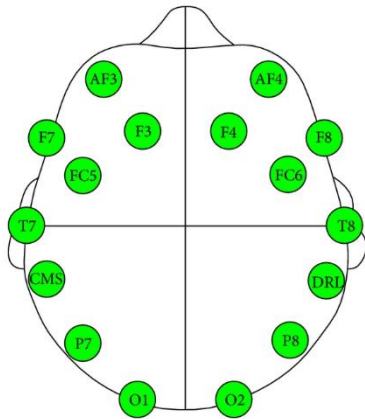


Figura 6-5 – Posicionamento dos eletrodos do equipamento Emotiv EPOC, segundo o sistema internacional 10/20.

amplifica a corrente elétrica - o eletrodo *Common Mode Sense (CMS)* - e um eletrodo passivo, ou seja, que não incorpora qualquer circuito elétrico - o eletrodo *Driven Right Leg (DRL)*. No caso do aparelho Emotiv® EPOC, os eletrodos CMS e DRL correspondem, respetivamente, às posições P3 e P4 do sistema internacional 10/20 e também se encontram representados na figura 6-5. Tal como se ilustra na figura 6-4, o equipamento é completamente desprovido de cabos e tem uma autonomia de 12 horas. Antes de cada utilização, as almofadas de feltro colocadas por cima dos sensores de cada canal devem ser humedecidas com uma solução salina.

A frequência de amostragem interna do dispositivo é de 2048 Hz, tendo cada canal uma frequência de amostragem de 128 Hz. Os sinais EEG são adquiridos com um filtro passa-banda com frequências de corte de 0,2 e 45 Hz, sendo também aplicados filtros *Notch* de 50 e 60 Hz. Os dados são depois enviados via Bluetooth para um computador, sendo a comunicação feita através de uma *pen drive* com ligação por Porta Universal (USB – do inglês *Universal Serial Bus*). O pacote de programas de desenvolvimento do Emotiv® EPOC, o *Software Development Kit (SDK)* (<http://emotiv.com/developer/>) fornece, entre outras, uma funcionalidade que permite a visualização, em tempo real, do sinal e da qualidade do contacto do sensor nos vários canais, permitindo uma monitorização da própria qualidade do sinal. A figura 6-6 ilustra a página principal da aplicação TestBench™, uma das aplicações associadas ao equipamento e a que foi utilizada ao longo deste estudo. Nesta página é possível visualizar, no canto superior esquerdo, uma representação da qualidade do contacto dos eletrodos a cada instante e, na janela de maior dimensão, à direita, a representação do próprio sinal EEG.

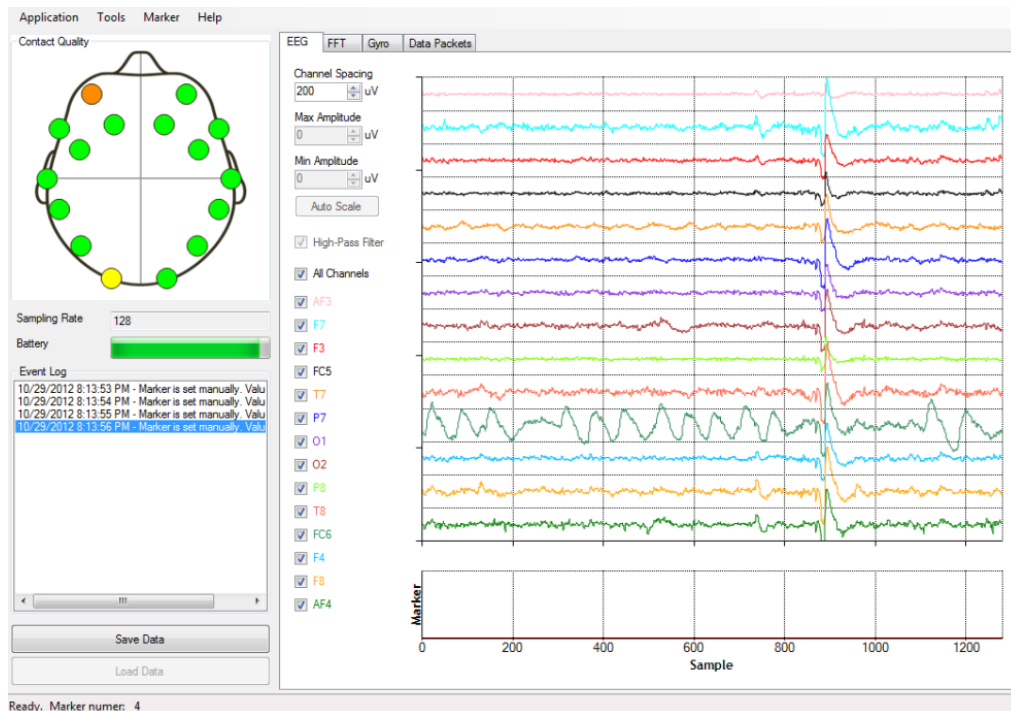


Figura 6-6 - Página inicial da aplicação TestBench™. Na janela do canto superior esquerdo ilustra-se a qualidade do contacto dos eléktrodos através das cores verde, amarelo, laranja, vermelho e preto. O verde é representativo de um bom contacto, enquanto o preto indica que não existe contacto. Na janela de maior dimensão à direita é possível visualizar o traçado relativo ao sinal de EEG para os 14 canais disponíveis.

Após a verificação da qualidade do sinal proveniente dos eléktrodos, foi facultado a cada sujeito um questionário, que pode ser consultado no Anexo II, no qual consta uma ficha a preencher com alguns dados pessoais, na primeira página, e, nas páginas seguintes, algumas questões sobre cada um dos sons. Assim, pedia-se ao voluntário que classificasse os primeiros 8 sons quanto à cor, como brilhante, baço, escuro, claro ou outro, quanto à textura, como lisa, rugosa, granulosa, estriada ou outro, e quanto à densidade, como elevada, média ou baixa. Já os últimos 4 sons deveriam ser classificados, quanto à direcionalidade, como direcional ou não direcional, quanto à mobilidade, como imóvel ou em movimento, e quanto à distância, como próximo ou distante. Simultaneamente, eram dados mais alguns esclarecimentos acerca do procedimento e pedia-se ao sujeito que se mantivesse imóvel, principalmente na zona facial, em silêncio e sem pensar em nada, tanto quanto possível, e que mantivesse o olhar fixo na cruz branca centrada no ecrã preto do computador que se encontrava à sua frente.

Foram feitas 12 aquisições por voluntário, uma por cada som, sendo que cada uma delas incluía 10 segundos de silêncio, 20 segundos de estímulo e, novamente, 10 segundos de silêncio. Esta configuração apenas diferia para o primeiro e para o último estímulos, cuja aquisição incluía 20 segundos de silêncio no início e 20 segundos de silêncio no fim, respetivamente. Os ficheiros de áudio foram gravados com os períodos de silêncio incluídos. O sujeito era informado acerca do início e do término de cada aquisição, de forma a que respondesse ao questionário acerca das características de cada som apenas nos intervalos entre aquisições. Os sons foram aplicados utilizando uma interface desenvolvida através do programa Max, uma linguagem de programação visual para música e multimédia, que permitiu fazer a marcação do início e do término de cada estímulo. Os sinais referentes a cada aquisição foram gravados com recurso à aplicação TestBench™, acima mencionada. No total, incluindo o tempo de colocação dos elétrodos, esclarecimento de dúvidas e preenchimento do questionário, cada aquisição teve uma duração média de 25 minutos. A figura 6-7 representa um esquema de blocos das condições da aquisição e respetivas durações.

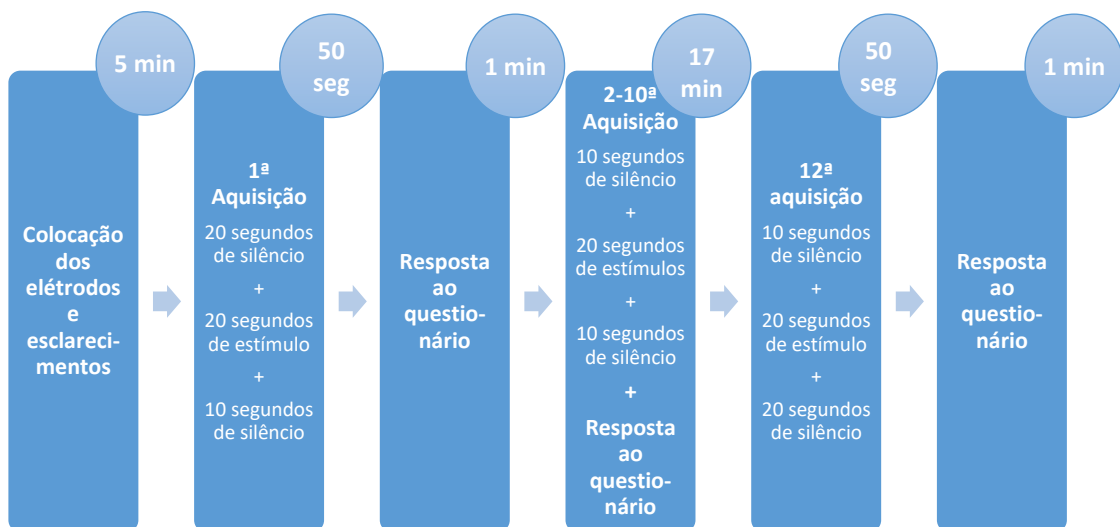


Figura 6-7 - Esquema de blocos representativo das várias condições do procedimento experimental.

6.4. PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL EEG

Todo o processamento digital dos sinais EEG foi realizado através do módulo logicial Matlab R2012b, desenvolvido por MathWorks®, EUA (<http://www.mathworks.com/>).

Os registos de sinal EEG foram automaticamente exportados para ficheiros com formato *.edf*, os quais, por sua vez, foram importados para o Matlab utilizando a função *edfread*. Uma vez obtidos os sinais, procedeu-se ao seu ajuste, tendo-se eliminado pequenas variações e flutuações, com recurso à função *detrend*, que encontra a melhor reta ajustável ao sinal e subtrai-a, obtendo um sinal sem tendências lineares. Em seguida, aplicou-se um filtro passa banda *Butterworth* de 10ª ordem, com frequências de corte em 5 e 30 Hz, de forma a eliminar tanto as altas frequências como as mais baixas, associadas, na sua maioria, ao ruído do próprio aparelho.

De cada um dos sinais adquiridos foram seleccionados registos de 40 segundos, para os sinais associados aos sons 2 a 11, e registos de 50 segundos, para os sinais associados aos sons 1 e 12. Estes trechos incluem os períodos de silêncio e de aplicação dos estímulos, tal como especificado na secção anterior.

Posteriormente, passou-se à remoção de artefactos. Os artefactos associados a vários canais foram eliminados com recurso à ICA, já descrito no capítulo anterior, mais concretamente utilizando o algoritmo *fastICA*. As épocas portadoras de artefactos que se restringiam a apenas 1 ou 2 dos 14 canais foram removidas utilizando um método mais manual, uma vez que o facto de se retirar uma componente independente provoca alterações - ainda que, em princípio, pouco significativas - em todo o sinal, não havendo necessidade da utilização desse método para estes casos. Assim: calculou-se a amplitude máxima do sinal nos períodos anterior e posterior ao artefacto; atribuiu-se esse valor de amplitude a qualquer valor superior ao mesmo, identificando-se simultaneamente a amostra em que o artefacto se inicia e a amostra em que termina; à amostra em que o artefacto se inicia atribui-se o valor da amplitude da amostra em que o mesmo termina e percorre-se o sinal, repetindo o mesmo procedimento.

Todo este processo foi automatizado, na medida do possível, tendo-se desenvolvido uma interface gráfica, ilustrada na figura 6-8, através do ambiente de desenvolvimento de interfaces gráficas do MATLAB, o GUIDE (*GUI development environment*).

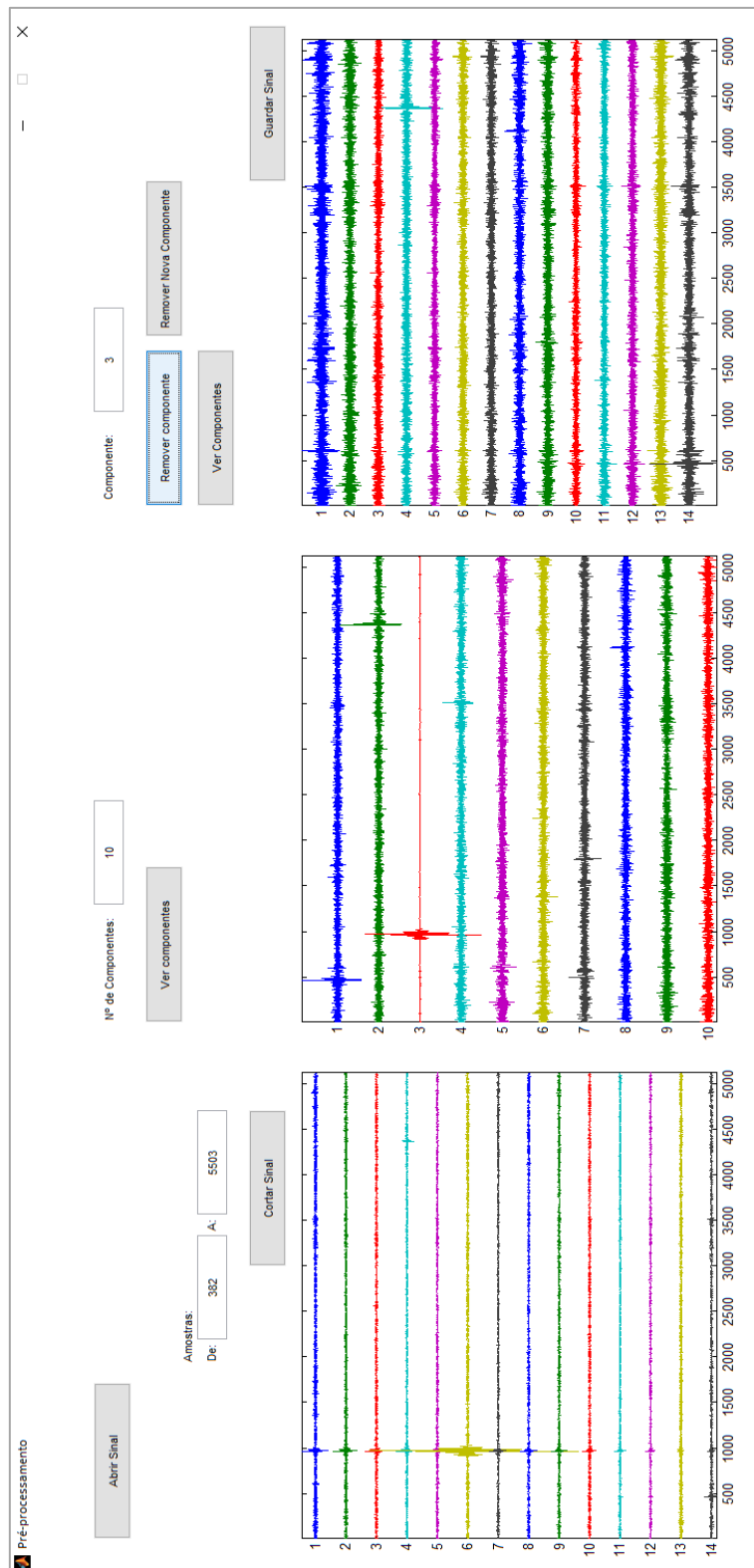


Figura 6-8 - Interface desenvolvida para o pré-processamento do sinal. Permite ao utilizador: seleccionar um sinal, aplicando de imediato os filtros escolhidos previamente e a função para remoção de tendências; introduzir o trecho do sinal que pretende analisar; visualizar as componentes independentes associadas ao sinal, através do algoritmo fastICA, sendo necessário introduzir previamente o número de componentes que pretende visualizar; e seleccionar a componente a remover, caso exista alguma – em caso afirmativo, é permitido ao utilizador visualizar as restantes componentes associadas ao sinal e remover uma nova componente; caso não pretenda remover qualquer componente ao sinal, é permitido ao utilizador gravar o sinal resultante de imediato.

No fim de todo este processo obteve-se um conjunto de 192 segmentos de EEG, contendo cada um deles um número de amostras que varia entre 4500 e 6400 amostras.

6.5. PROCESSAMENTO DOS DADOS

6.5.1. RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS

As respostas aos questionários foram analisadas com recurso ao programa Excel 2016 (<https://products.office.com/pt-PT/excel>), um programa incluído no pacote Microsoft® Office (<https://www.office.com/>) e que oferece aos utilizadores uma interface intuitiva com poderosas ferramentas de cálculo e de construção de gráficos. Recorrendo a estas ferramentas, foi feita uma análise estatística no que respeita às respostas dos voluntários acerca das características de cada som, com o intuito de inferir acerca da existência de tendências na classificação dos mesmos. Esta análise foi feita de uma forma geral, considerando a amostra total, e para cada um dos três grupos estabelecidos pelo nível de formação musical: indivíduos com Treino Musical Intensivo (TMI), Músicos Amadores (MA) e indivíduos Sem Formação Musical (SFM).

6.5.2. SINAL EEG

Tal como já foi mencionado, o processamento digital dos sinais EEG foi realizado através do módulo logicial Matlab R2012b, desenvolvido por MathWorks®, EUA (<http://www.mathworks.com/>). Como auxílio ao código foram também utilizadas algumas funções do EEGLAB (<https://scn.ucsd.edu/eeglab/>), uma ferramenta disponível para MATLAB orientada para o processamento de sinais EEG, entre outros sinais eletrofisiológicos.

O objetivo desta fase do processo seria, então, encontrar diferenças, em cada um dos 14 canais, entre o sinal EEG num período sem aplicação de qualquer estímulo auditivo e no período em que o estímulo foi aplicado. Numa fase posterior, pretender-se-ia observar as diferenças entre os períodos de aplicação dos vários tipos de estímulos selecionados para o estudo.

De forma a atingir os objetivos supracitados, passou-se ao cálculo das densidades espectrais de potência, com recurso às funções *spectrogram* e *pwelch*, tendo sido feita uma análise paralela dos períodos sem aplicação de estímulo e com aplicação de estímulo, tal como se encontra representado na figura 6-9. A função *spectrogram* retorna a TF de tempo curto, criando um espectrograma, um mapa de cores a duas dimensões que representa a PSD em função do tempo. Já a função *pwelch* gera a curva da PSD em função da frequência. Para verificar a estacionariedade do sinal, nos períodos de silêncio e nos períodos de estímulo, observou-se a curva PSD ao longo do tempo.

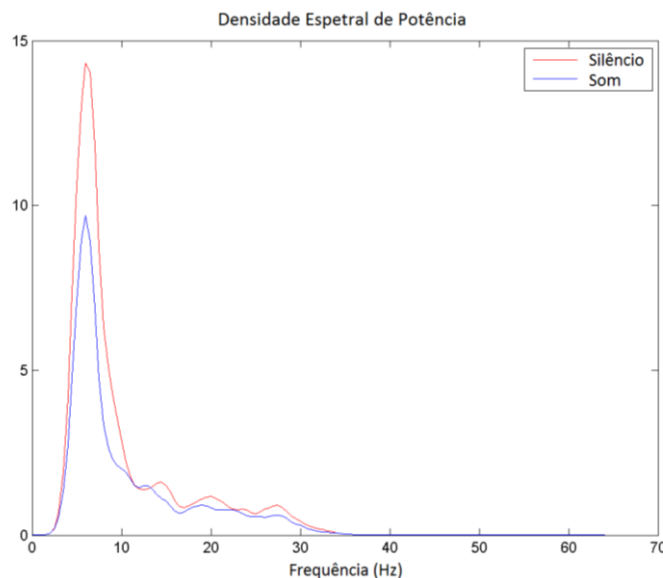


Figura 6-9 - Curvas PSD associadas ao período de silêncio (vermelho) e ao período de aplicação de estímulo auditivo (azul).

Posteriormente a este processo, dividiu-se o sinal em janelas de 5 segundos, procedeu-se à filtragem do sinal em bandas de frequências, utilizando novamente um filtro *Butterworth* de 10ª ordem, e calculou-se a densidade espectral de potência individualmente para cada janela e para cada banda, tendo-se optado por analisar apenas as bandas teta, entre os 5 e os 7,5 Hz, alfa, entre os 7,5 e os 13,5 Hz e beta, entre os 13,5 e os 30 Hz. Em seguida, calculou-se o integral associado à curva PSD, também para cada janela e para cada banda. Selecionando as janelas correspondentes a períodos de silêncio, calculou-se a média dos valores dos integrais, para cada banda, nesse período. O mesmo processo foi repetido para as janelas correspondentes a períodos de aplicação de estímulo. Seja μ_s o valor da média calculada para o período de silêncio e μ_e o valor da média calculada para o período de aplicação de estímulos. Subtraindo as duas médias, foi possível obter um valor numérico para a diferença, Δ , a nível de cada uma das bandas, ente os dois períodos:

$$\Delta = \mu_e - \mu_s \quad (6.1)$$

De forma a averiguar se a diferença entre as médias nos dois períodos seria significativa, procedeu-se a um teste *t* de *Student* bicaudal, tendo-se utilizado um nível de significância de 0,05.

Procedeu-se a esta análise para cada canal individualmente, tendo sido, portanto, analisados, um total de 2688 sinais. O processamento dos dados foi automatizado ao máximo, de forma a minimizar o tempo despendido nesta fase. No entanto, nem sempre foi possível fazê-lo, devido à variabilidade dos sinais, nomeadamente no que respeita ao número de amostras e à duração dos períodos de silêncio e de aplicação de estímulo.

De forma a facilitar a visualização dos resultados foram construídos, por cada sujeito, por cada som e por cada banda, mapas topográficos do escalpe, num plano circular de duas dimensões. Este processo foi levado a cabo com o auxílio de uma função existente no pacote de funções da ferramenta EEGLAB, a função *topoplot*, que executa uma interpolação de forma a mapear todo o escalpe, necessitando apenas dos valores a atribuir aos vários canais e de um ficheiro que permita aceder às localizações dos mesmos canais.

Sendo v_{max} , o valor máximo do integral associado ao período de silêncio, entre os resultados para os 14 canais de uma aquisição, correspondente a um som, associaram-se aos mapas os valores da razão, r , calculada para cada canal:

$$r = \frac{\Delta}{v_{max}} \quad (6.2)$$

Assim, para cada aquisição foi construído um mapa associando os 14 pontos do escalpe correspondentes aos 14 canais, aos 14 valores de r calculados. Desta forma, foram contruídos um total de 576 mapas.

De forma a possibilitar a comparação entre os vários mapas, foi aplicada a mesma escala a todos eles. Uma vez que a percentagem do número de valores de r com valor absoluto superior a 1 era igual a 0,93% - com um erro relativo de $3,47 \times 10^{-3}$ - considerada diminuta, e dado que o máximo valor absoluto de r era superior ao quádruplo desse valor, os valores dos extremos da escala foram calculados de forma a evitar um mascaramento dos resultados. Seja r_{max} o máximo do valor absoluto de todas razões r calculadas, para cada canal - entre todos os sujeitos e todos os sons -, calculou-se a média dos 14 valores de r_{max} . Tendo-se obtido um valor de cerca

de 2, atribuiu-se ao máximo e mínimo da escala os valores 2 e -2, respetivamente. Desta forma, assumiu-se que qualquer valor igual ou superior a 2 representa uma diferença significativa máxima entre a atividade cerebral no período de silêncio e no período de aplicação de estímulo. Na observação dos mapas, consideraram-se como apresentando diferenças significativas na potência associada aos vários ritmos, regiões com valores de r

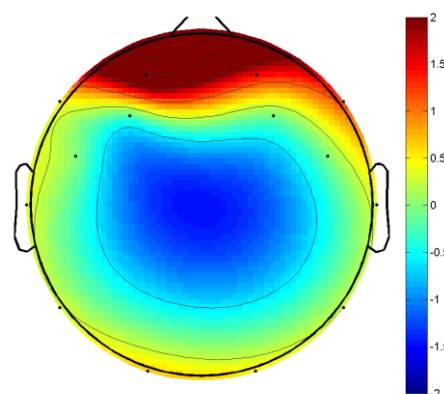


Figura 6-10 - Mapa topográfico do escalpe de um sujeito com treino musical intensivo obtido a partir das diferenças da atividade na banda teta entre o período de silêncio e durante a audição do som 8.

superiores, em valor absoluto, a 0,2, ou seja, superiores a 10% do maior valor da escala. A figura 6-10 ilustra um dos mapas calculados através do método descrito.

Alguns dos procedimentos anteriormente descritos foram executados através de uma interface gráfica, ilustrada na figura 6-11, desenvolvida com recurso ao ambiente de desenvolvimento de interfaces gráficas do MATLAB, o GUIDE, que permite fazer uma análise mais individual e detalhada dos sinais, possibilitando ao utilizador: comparar o sinal proveniente de um canal em dois períodos de tempo especificados pelo mesmo; ou, selecionando um dos períodos indicados, comparar o sinal proveniente do canal esquerdo e do respetivo canal direito.

De forma a corroborar os resultados obtidos através dos mapas topográficos, foram efetuados testes t bicaudais emparelhados para comparação de médias, tendo-se utilizado um nível de significância de 0,05 e tendo como parâmetros os valores μ_s e μ_e para os vários sujeitos. Os testes t foram realizados, numa primeira análise, incluindo os valores de μ_s e μ_e associados a todos os sons e a todos os sujeitos, mas para cada canal individualmente, com o intuito de inferir acerca da existência de diferenças entre os dois períodos de uma forma geral. Numa fase posterior, realizaram-se testes individualmente para os vários sons, e para cada canal, e considerando tanto a amostra total de voluntários como cada um dos três grupos de níveis de formação musical em separado.

Anteriormente à realização destes testes, aplicou-se às amostras a função `TESTE.Z`, incluída no pacote de funções do Excel 2016, que permite verificar se uma amostra segue uma distribuição normal, condição necessária para a realização de um teste t .

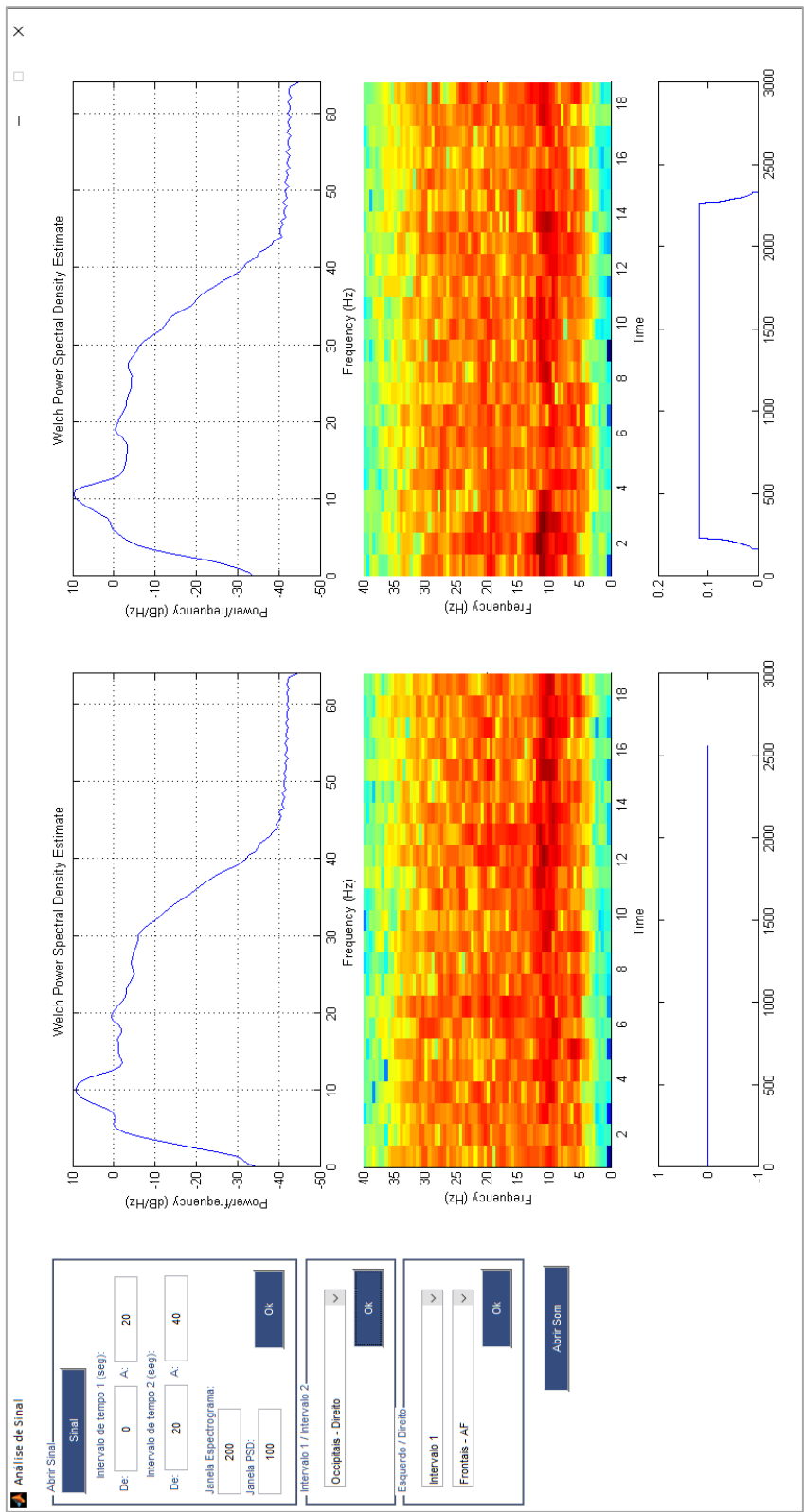


Figura 6-11 – Interface desenvolvida para análise de sinal. Permite ao utilizador: seleccionar o sinal que pretende analisar; escolher dois períodos do mesmo para fazer uma comparação; indicar a janela que pretende utilizar para visualizar o espectrograma e a curva PSD. Depois desta seleção é imediatamente mostrado ao utilizador, numa nova figura, tanto o sinal completo como o sinal nos dois intervalos seleccionados. O utilizador pode depois decidir se pretende fazer uma comparação entre os dois períodos para um só canal, ou se pretende comparar dois canais simétricos num mesmo período. Depois de seleccionada uma destas opções, surgem, então os espectrogramas e as curvas PSD nos respectivos eixos. Surge também uma figura à parte na qual é possível visualizar as duas curvas PSD sobrepostas. É ainda possível seleccionar o som a que corresponde o sinal, de forma a que a representação da sua amplitude seja associada a cada um dos intervalos.

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Ao longo do presente capítulo expõem-se os resultados do trabalho desenvolvido de acordo com a metodologia descrita no capítulo anterior. Os resultados obtidos encontram-se distribuídos em duas secções fundamentais, Análise Estatística dos Questionários e Análise do Sinal EEG, e, por opção, são discutidos à medida que são apresentados.

7.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS QUESTIONÁRIOS

A análise estatística dos questionários foi realizada com o intuito de inferir acerca da existência de tendências na classificação dos mesmos, tanto de uma forma geral, considerando toda a amostra, como no que respeita a cada um dos três grupos estabelecidos pelo nível de formação musical: indivíduos com Treino Musical Intensivo (TMI), Músicos Amadores (MA) e indivíduos Sem Formação Musical (SFM). Esta análise permitiu também concluir acerca das diferenças entre os três grupos no que respeita à concordância das respostas verificadas com os resultados do estudo de Pires (2012) e à unanimidade das respostas dentro do próprio grupo.

7.1.1. AMOSTRA TOTAL

Nas tabelas 7-1 e 7-2 encontram-se resumidos os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários, tendo em conta a opção mais votada de cada qualidade associada a cada um dos sons e considerando o total da amostra. Nas tabelas encontram-se também representados os resultados do estudo de Pires (2012) de forma a ser possível fazer uma análise comparativa entre os dois. O gráfico apresentado na figura 7-1 ilustra as percentagens de concordância e divergência entre os resultados dos dois estudos em questão. De forma a evitar uma exposição exaustiva de gráficos, apresentam-se no Anexo III os gráficos circulares que ilustram as

percentagens relativas ao número de respostas atribuídas a cada uma opções associadas às várias características dos sons.

Tabela 7-1 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de qualidades do campo da matéria, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando a amostra total. Destacam-se na tabela os resultados que se encontram em concordância com os resultados de Pires (2012).

	Cor		Textura		Densidade	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 1	Brilhante	Claro	Liso	Liso	Inconclusivo	Baixa
Som 2	Baço	Baço	Rugoso	Estriado	Média	Elevada
Som 3	Brilhante	Brilhante	Granuloso	Granuloso	Baixa	Baixa
Som 4	Escuro	Escuro	Rugoso	Liso	Elevada	Média
Som 5	Claro	Claro	Granuloso	Granuloso	Média	Baixa
Som 6	Escuro	Baço	Rugoso	Rugoso	Elevada	Média
Som 7	Claro	Brilhante	Rugoso	Estriado	Média	Elevada
Som 8	Baço	Escuro	Granuloso	Rugoso	Elevada	Média

Tabela 7-2 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de qualidades do campo da posição, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando a amostra total. Destacam-se na tabela os resultados que se encontram em concordância com os resultados de Pires (2012).

	Direccionalidade		Mobilidade		Distância	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 9	Direccional	Não direccional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Próximo
Som 10	Inconclusivo	Direccional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Distante
Som 11	Não direccional	Não direccional	Imóvel	Imóvel	Próximo	Distante
Som 12	Inconclusivo	Direccional	Em movimento	Inconclusivo	Distante	Próximo

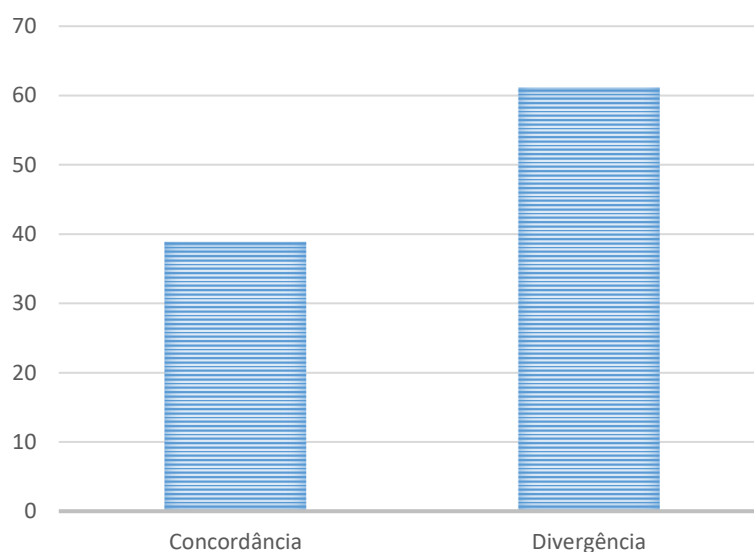


Figura 7-1 – Percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo e os resultados do estudo de Pires (2012), considerando a amostra total.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 7-1 e 7-2 e no gráfico da figura 7-1, foi possível concluir que os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo não estão, maioritariamente, em concordância com os resultados do inquérito associado ao estudo de Pires (2012). No entanto, principalmente no que respeita à cor e à textura, a divergência nas respostas centra-se entre opções mais próximas dentro da mesma qualidade, ou seja, parece existir uma tendência para a confusão entre um som brilhante e um som claro e entre um som escuro e um som baço, no que respeita à cor, e entre um som rugoso e um som granuloso, no que respeita à textura. Note-se também que a mobilidade dos sons é a qualidade que apresenta uma maior concordância entre os resultados dos dois estudos em questão, podendo, portanto, concluir-se que se trata de uma característica que gera uma quase unanimidade.

Do conjunto dos resultados apresentados nas tabelas 7-1 e 7-2, destacam-se na tabela 7-3 os sons e as respetivas características identificadas por uma significativa maioria dos sujeitos. Considerou-se como sendo significativa uma percentagem de respostas superior a 65%. O gráfico representado na figura 7-2 ilustra as percentagens de concordância e divergência entre este grupo de resultados e os resultados do estudo de Pires (2012), no que respeita aos mesmos sons e características.

Tabela 7-3 – Sons e respectivas características indicadas por uma maioria significativa da amostra considerada, tendo-se considerado como significativa uma percentagem de respostas superior a 65%.

	Qualidade	2016	2012
Som 1	Textura	Liso	Liso
Som 3	Textura	Granuloso	Granuloso
Som 4	Cor	Escuro	Escuro
Som 5	Cor	Claro	Claro
Som 5	Densidade	Média	Baixa
Som 8	Cor	Baço	Escuro
Som 9	Direcionalidade	Direcional	Não direcional
Som 9	Mobilidade	Em movimento	Em movimento
Som 9	Distância	Próximo	Próximo
Som 10	Mobilidade	Em movimento	Em movimento
Som 10	Distância	Próximo	Distante
Som 11	Direcionalidade	Não direcional	Não direcional
Som 11	Distância	Próximo	Distante

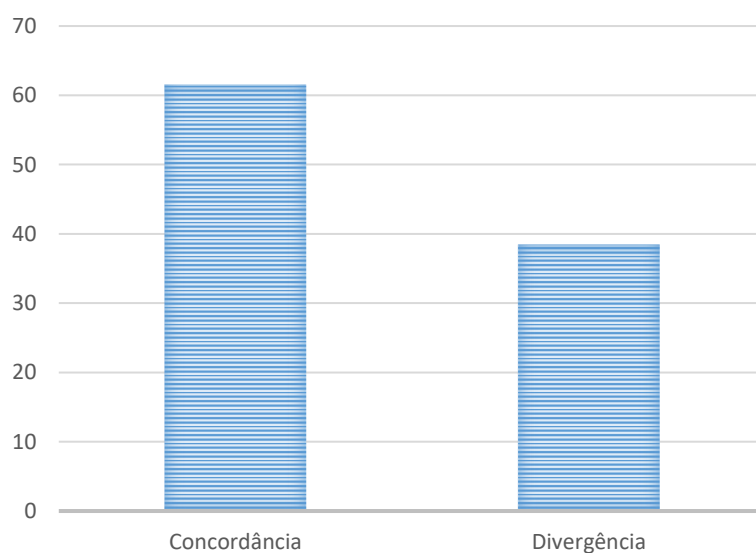


Figura 7-2 – Percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo, considerando apenas os sons e respectivas características indicadas por uma maioria significativa da amostra total, e os resultados do estudo de Pires (2012).

A partir dos resultados acima apresentados, conclui-se que as respostas associadas a uma maioria significativa da amostra considerada aproximam-se mais dos resultados do estudo de Pires (2012) quando se compara com o panorama geral. Maioritariamente, existe uma concordância entre aquelas que são as características mais evidentes para a amostra considerada no presente estudo e as características mais evidentes para a amostra considerada no estudo de Pires (2012). Tal não se verifica quando se considera o panorama geral, talvez por serem tidas em conta as respostas associadas a percentagens mais medianas e que parecem gerar confusão dentro da própria amostra. Esta aproximação parece sugerir que existem sons para os quais as suas características são mais evidentes, sendo mais unânime a sua classificação. São eles os sons 1, 3, 4, 5, 9, 10 e 11.

Importa ainda ressaltar que a amostra associada ao estudo de Pires (2012) é consideravelmente superior à amostra associada ao presente estudo, o que também poderá ter influenciado os resultados.

7.1.2. INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE FORMAÇÃO MUSICAL

No Anexo IV encontram-se resumidos os resultados dos questionários, na mesma configuração das tabelas apresentadas na secção anterior, mas considerando, separadamente, os grupos TMI, os MA e SFM.

Os gráficos representados nas figuras 7-3, 7-4 e 7-5 ilustram as percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo e os resultados do estudo de Pires (2012), para os grupos TMI, MA e SFM, respetivamente.

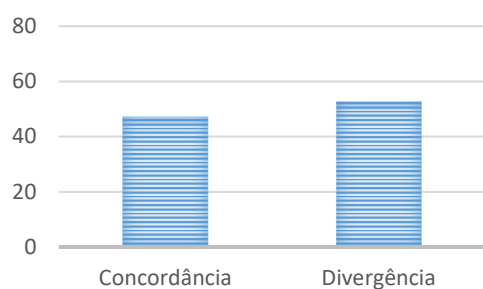


Figura 7-3 - Percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo e os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos do grupo TMI.

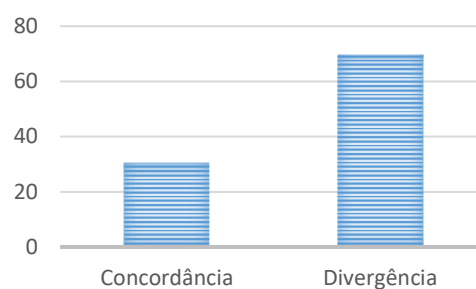


Figura 7-4 - Percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo e os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos do grupo MA.

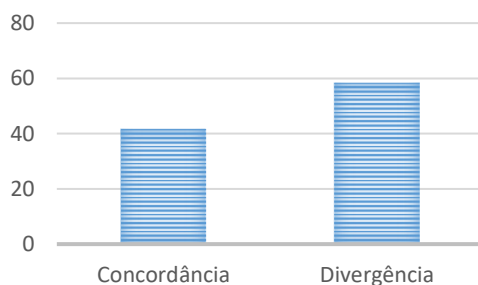


Figura 7-5 - Percentagens de concordância e divergência entre os resultados do presente estudo e os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos do grupo SFM.

Fazendo uma análise análoga à anteriormente feita para a amostra total, desta vez para cada um dos grupos estabelecidos de acordo com o nível de formação musical dos sujeitos, pode concluir-se que os indivíduos que apresentam uma maior concordância com os resultados observados no estudo de Pires (2012) são os sujeitos pertencentes ao grupo TMI. Tal resultado poderá ser indicativo de que, para estes indivíduos, uma vez que a análise de sons está intimamente associada à sua área de formação, não existe tanta confusão entre as várias opções para as qualidades estudadas, estando para eles melhor estabelecida a barreira entre elas.

7.2. ANÁLISE DOS SINAIS DE EEG

A análise dos sinais de EEG obtidos aquando da realização do presente estudo foi concretizada tendo em consideração os resultados dos dois métodos apresentados no capítulo Metodologia: os mapas topográficos representativos das zonas do escalpe onde se notaram mais e menos alterações na potência dos ritmos cerebrais entre os períodos de silêncio e de aplicação dos sons, que proporcionam uma análise de carácter qualitativo; e os testes t realizados com o intuito de averiguar acerca de alterações significativas na potência dos ritmos cerebrais entre os mesmos períodos, sendo esta análise de carácter quantitativo.

7.2.1. ANÁLISE GERAL

A tabela 7-4 apresenta os resultados dos testes t realizados de forma a verificar a existência de alterações significativas nos ritmos cerebrais, em cada um dos 14 canais, entre os períodos de silêncio e aplicação de estímulo, considerando todos os sujeitos e, para cada sujeito, todos os sons aplicados.

Da análise da tabela apresentada pode concluir-se que a presença de um som tende a provocar uma diminuição da potência das frequências associadas aos ritmos cerebrais teta, alfa e beta. Esta diminuição é mais significativa para os ritmos teta e beta. Apesar de existir um canal que não apresenta alterações significativas na presença de som, este facto é considerado irrelevante, uma vez que para todos os outros canais se verifica o oposto. No que respeita ao ritmo alfa, as alterações não são tão generalizadas, o que não é contrário ao que seria de esperar, uma vez que se trata do ritmo mais ubíquo no escalpe do ser humano (Schomer e Silva, 2011). Além disso, o facto de os voluntários se encontrarem de olhos abertos durante as aquisições de sinal EEG, já provoca, por si só, uma diminuição acentuada do ritmo alfa, sendo mais difícil verificar-se uma nova diminuição do mesmo.

Tabela 7-4 – Resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), e para cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo de todos os indivíduos e, para cada indivíduo, de todos os sons. Na tabela apresentam-se os valores das diferenças entre os integrais das curvas PSD para os dois períodos mencionados. Os valores representados a vermelho estão associados a diferenças negativas, ou seja, indicam que se verificou uma diminuição da atividade do ritmo cerebral em questão; os valores a preto indicam diferenças positivas; os valores não representados (-) dizem respeito às alterações não significativas.

	Canal													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
θ	6,8	2,8	0,4	-	3,6	2,1	1,5	1,6	2,6	3,6	0,8	0,5	1,6	6,9
α	2,8	3,1	-	-	-	2,2	4,0	-	5,2	2,0	1,5	-	-	2,9
β	4,4	8,0	4,6	6,4	9,5	15,8	2,8	3,5	27,1	17,9	5,3	2,8	3,3	4,0

Da teoria, esperar-se-ia que, na presença de um estímulo auditivo, os resultados apontassem para uma ativação das regiões do cérebro associadas a processos cognitivos. Estando a ativação de uma região do cérebro associada, em princípio, ao aumento da atividade elétrica cerebral e, portanto, à sincronia de uma quantidade significativa de neurónios, que, por sua vez, conduz ao aparecimento de ritmos cerebrais, seria, então, de esperar, um aumento da potência dos ritmos cerebrais em determinadas regiões do cérebro. Ora, os resultados parecem apontar na direção contrária: os ritmos teta, alfa e beta tendem a diminuir para as várias regiões do cérebro na presença de um estímulo auditivo. No entanto, da literatura surgem evidências que corroboram estes resultados, associando-os, ao mesmo tempo, à ativação cerebral.

Vários são os estudos que associam o ritmo alfa a processos inibitórios que contribuem para uma variedade de operações cognitivas, como a atenção e a memória (Knyazev, 2007; Klimesch *et al*, 2007; Händel *et al*, 2011). Estes estudos afirmam que a potência associada ao ritmo alfa numa determinada região do cérebro se relaciona inversamente com a atividade cortical na mesma região. Existem também estudos que verificam esta relação no caso do ritmo beta (Medendorp *et al*, 2007), sobretudo no que respeita a análises dos períodos de pré e pós-estímulo auditivo (Engel e Fries, 2010; Meijer *et al*, 2016). Todos estes resultados são corroborados pelos vários estudos que afirmam que o decréscimo das baixas frequências cerebrais está associado ao aumento de frequências cerebrais mais elevadas, como o ritmo gama, associadas, por sua vez, ao processamento ativo de informação e às mais variadas funções cognitivas (Medendorp *et al*, 2007; Engel e Fries, 2010; Uhlhaas *et al*, 2009; Carrus *et al*, 2011; Chen *et al*, 2015).

A banda beta aparenta também desempenhar um papel ativo na construção de percepções multi-modais, estando a diminuição da sua potência associada ao processamento da percepção de Gestalt, que se relaciona com a percepção dos estímulos como um todo (Zaretskaya e Bartels, 2015; Barraza *et al*, 2016). Este facto relaciona-se intimamente com os resultados do presente estudo. Tendo-se observado que o ritmo beta é o que se apresenta mais alterado nos períodos de aplicação dos estímulos, e estando essa alteração associada à diminuição da sua potência, os resultados parecem sugerir a presença de mecanismos de percepção modal cruzada. De facto, estas evidências estão de acordo com o que se esperaria obter, uma vez que o presente estudo, dado que objetiva inferir acerca de características visuais e táteis de estímulos auditivos, se encontra associado a questões de percepção modal cruzada e, mais concretamente, de sinestesia.

Uma outra abordagem possível à análise dos resultados é a sua relação com o conceito das Redes Neurais de Repouso¹ (RNR). A técnica de fMRI é tipicamente utilizada para estudar pequenas variações de sinal dependentes do nível de oxigénio do sangue (BOLD, do inglês *Blood Oxygen Level Dependent*), induzidas aquando da execução de uma tarefa ou pela aplicação de um estímulo (Rosazza e Minati, 2011). A conectividade funcional representa uma nova abordagem à técnica de fMRI que permite investigar a atividade neuronal de regiões que estão funcionalmente conectadas, ou seja, sincronamente ativas, mesmo estando anatomicamente distantes. Assim, as áreas do cérebro que exibam flutuações de sinal BOLD correlacionadas em tempo são caracterizadas por estarem funcionalmente conectadas e constituem as redes neuronais (Rosazza e Minati, 2011). A conectividade funcional tem sido particularmente estudada durante o estado de repouso, condição na qual um sujeito é instruído a permanecer imóvel, sem desempenhar qualquer tarefa ativa, tendo os olhos fechados ou abertos, e, neste último caso, fixando uma cruz. Estes estudos têm revelado uma multiplicidade de redes neuronais associadas ao estado de repouso, as RNR, que são consistentemente encontradas em sujeitos saudáveis e que representam padrões de atividade síncrona (Mantini *et al*, 2007; Lagioia *et al*, 2010; Rosazza e Minati, 2011; Boeijinga, 2015).

Uma vez que os voluntários do presente estudo se encontravam no estado de repouso supracitado aquando da aquisição de sinal EEG, é de todo o interesse avaliar os padrões de atividade associados a estas RNR de forma a melhor entender os resultados obtidos. De facto, vários são os estudos que apontam para a existência de uma relação entre as flutuações de sinal

¹ Do inglês *Resting-State Networks*.

BOLD e as oscilações espontâneas dos ritmos de EEG (Fox e Raichle, 2007; Rosazza e Minati, 2011; Scheeringa *et al*, 2011; Heine *et al*, 2012; Bonnard *et al*, 2016; Wang *et al*, 2016). Por exemplo, uma das RNR mais estudadas, a Rede em Modo Padrão¹ (RMP), que se encontra intensamente ativa durante o repouso, tem apresentado um comportamento semelhante ao ritmo alfa, no sentido em que ambas são relativamente atenuadas em situações de atenção focalizada e o seu padrão de ativação está inversamente relacionado com a ativação de determinadas áreas do cérebro (Rosazza e Minati, 2011; Bonnard *et al*, 2016).

Segundo alguns estudos (Mantini *et al*, 2007; Lagioia *et al*, 2010; Boeijinga, 2015) é possível identificar, para a maioria dos indivíduos, pelo menos seis RNR, descritas na tabela 7-5.

Tabela 7-5 – Descrição das seis RNR mais amplamente identificadas em indivíduos saudáveis (Mantini *et al*, 2007; Lagioia *et al*, 2010; Boeijinga, 2015).

	Descrição
RNR 1	Rede correspondente à RMP, associada a processos cognitivos espontâneos, introspetivos. Envolve estruturas das regiões parietais e frontais do cérebro.
RNR 2	Rede de Atenção Dorsal, ativada em situações de atenção focalizada, nomeadamente no que respeita ao espaço e à extração de características associadas a um estímulo. Envolve estruturas das regiões parietais e frontais do cérebro.
RNR 3	Rede associada a regiões posteriores e dedicada ao processamento visual. Envolve estruturas das regiões occipitais e temporais do cérebro
RNR 4	Rede correspondente ao sistema auditivo e fonológico, e, portanto, associado ao significado dos sons e da linguagem. Envolve, principalmente, estruturas da região temporal do cérebro.
RNR 5	Rede associada ao sistema motor e somatossensorial. Envolve, principalmente, estruturas da região frontal do cérebro.
RNR 6	<i>Self-Referential Network</i> , envolvida em funções executivas, como processos de treino da memória. Envolve estruturas da região frontal do cérebro, o hipotálamo e o cerebelo

¹ Do inglês *Default Mode Network*.

Mantini *et al* (2007) investigaram a correlação entre as flutuações de sinal BOLD associadas às várias RNR e as variações de potência dos ritmos delta, teta, alfa, beta e gama. Os resultados sugerem uma acentuada correlação negativa, associada a uma dessincronização neuronal, entre os ritmos teta, alfa e beta e as RNR 2, 3 e 4, evidenciando assim uma correspondência entre situações de atenção focalizada e de processamento visual e auditivo, e a diminuição da potência dos ritmos teta, alfa e beta.

Os resultados do presente estudo parecem ir ao encontro dos resultados do estudo de Mantini *et al* (2007), na medida em que, na presença de um estímulo, a potência associada aos ritmos teta, alfa e beta diminuem consideravelmente em praticamente todas as regiões do cérebro. A associação destes resultados parece ser ainda mais evidente para a RNR 4, associada ao processamento auditivo, que verifica uma correlação negativa maior com o ritmo beta - sendo, no entanto, muito próxima da verificada com o ritmo teta -, e menor com o ritmo alfa, tal como se ilustra na figura 7-6, o que sugere que, a estados de processamento auditivo, se associa uma diminuição maior da potência do ritmo beta, seguida da associada ao ritmo teta e, de forma menos significativa, da associada ao alfa. Ora, esta é também a configuração dos resultados do presente estudo para as regiões temporais: a potência do ritmo beta diminui de forma mais significativa; a diminuição da potência do ritmo teta é um pouco menos significativa; e a diminuição da potência associada ao ritmo alfa é a menos evidente (ver tabela 7-4, canais 5 e 10). Esta

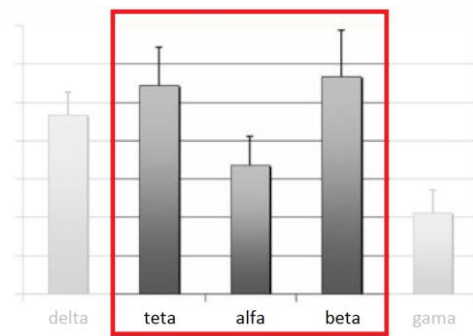


Figura 7-6 - Níveis de correlação negativa associados aos vários ritmos cerebrais considerados no estudo de Mantini *et al* (2007) para a RNR 4. Encontram-se destacados a vermelho os resultados relativos aos ritmos teta, alfa e beta. Adaptado de Mantini *et al* (2007).

configuração não surgiu, no entanto, exclusivamente para as regiões temporais, uma vez que se verifica para a maioria das regiões do escalpe.

Associando todas estas evidências, parece, então, viável afirmar que a aplicação dos sons utilizados no presente estudo tende a provocar um decréscimo da potência de cada um dos ritmos teta, alfa e beta, estando este associado ao aumento do processamento cognitivo, principalmente no que respeita ao sistema auditivo.

7.2.2. INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES SONS

A tabela 7-6 apresenta os resultados dos testes t realizados com o intuito de distinguir os doze sons utilizados no presente estudo no que respeita às alterações verificadas ao nível dos ritmos cerebrais entre os períodos de silêncio e de aplicação do som, considerando a amostra total. Para uma melhor interpretação dos resultados, encontra-se sintetizada na tabela 7-7 a divisão dos sons no que respeita à intensidade, à forma de onda e à análise espectral.

Através da mera observação das tabelas 7-6 e na figura 7-7, depreende-se que os sons 1, 3, 6 e 8 são os sons que provocam menos alterações ao nível dos ritmos cerebrais. De facto, os sons 1, 3 e 6 pertencem ao grupo dos sons considerados estáticos, e portanto, mais estáveis ao longo do tempo. Estes resultados sugerem que um som mais estático, talvez por ter pouco significado, não ativa tanto os mecanismos de processamento cognitivo como um som mais variável em intensidade, que acaba por conter informação mais variada. Do grupo de sons considerados estáticos apenas o som 7 não se inclui no grupo dos que provocam menos alterações ao nível dos ritmos cerebrais. Note-se, no entanto, que, entre os restantes sons este é o que apresenta menos alterações ao nível dos ritmos cerebrais, o que corrobora a teoria supracitada. O som 8 parece ser a exceção à regra, uma vez que se trata de um som de intensidade variável. Ainda assim, é de ressaltar que este som teve origem de uma gravação no metro, sendo, portanto, um som bastante vulgar, familiar e com pouco significado, que facilmente se confundiria com ruído de fundo. Tal facto sugere que este se pode inserir no grupo dos sons que não tendem a ativar mecanismos de processamento cognitivo, que fica, então, composto, pelos sons 1, 3, 6, 7 e 8.

Os restantes sons, 2, 4, 5, 9, 10, 11 e 12, pelo facto de tenderem a diminuir a potência associada aos ritmos cerebrais, e dada a discussão da secção anterior, aparentam ativar, de forma mais significativa, os mecanismos associados a funções cognitivas. Entre estes, a maioria são sons com características relevantes relativas ao campo da posição, o que parece indicar que os sons particularmente associados a características deste campo tendem a ser mais preponderantes na ativação cerebral do que os sons associados, sobretudo, a características do campo da matéria. Este resultado parece ter alguma relação com os resultados dos questionários, uma vez que estes também identificam uma das características do campo das posições, a mobilidade, como a que gera mais unanimidade.

Tabela 7-6 - Resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo de todos os indivíduos. Na tabela apresentam-se os valores das diferenças entre os integrais das curvas PSD para os dois períodos mencionados. Os valores representados a vermelho estão associados a diferenças negativas, ou seja, indicam que se verificou uma diminuição da atividade do ritmo cerebral em questão; os valores não representados (-) dizem respeito às alterações não significativas.

Som		Canal													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-
2	θ	8,7	2,4	-	-	2,7	2,2	2,7	1,9	-	1,9	-	-	-	9,5
	α	-	-	-	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	3,2	4,3	-	7,5	-	4,3	2,5	-	-	-	-	-	2,9
3	θ	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	12,6	-	-	-	-	-	2,8	3,6	6,1
4	θ	5,8	-	-	-	-	2,4	1,9	-	1,8	3,2	-	0,6	-	7,0
	α	5,2	-	-	-	-	4,5	-	-	-	7,9	-	-	-	-
	β	4,1	-	8,2	8,8	14,0	38,3	3,8	4,8	-	-	9,7	4,0	4,9	5,0
5	θ	7,4	-	-	-	1,9	1,7	2,0	-	1,9	-	-	-	3,0	9,3
	α	-	-	-	-	2,7	-	-	-	-	-	-	-	2,2	8,2
	β	-	-	2,1	-	-	-	2,4	5,4	-	-	-	2,0	-	-
6	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	10,2	-	-	6,1	-	27,7	-	3,5	5,2	-
7	θ	9,8	-	-	-	-	2,9	1,8	-	2,5	-	-	-	2,5	11,1
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	5,3	-	-	2,1	-	-	-	-	1,8	4,1	2,8
8	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7
9	θ	10,1	-	-	-	-	3,6	2,0	2,8	4,7	-	-	1,0	3,3	10,8
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	3,5	6,7	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	4,9	7,3
10	θ	12,2	-	-	0,6	2,2	3,8	-	1,9	1,8	1,5	-	1,1	-	9,7
	α	-	-	-	-	3,3	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-
	β	6,6	-	-	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	5,1
11	θ	5,2	2,4	-	-	1,5	1,9	2,4	2,2	2,3	1,4	-	-	1,5	5,6
	α	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	4,3	6,8	5,6	-	8,4	11,6	-	4,2	-	-	0,04	-	-	4,5
12	θ	-	-	-	-	1,0	1,7	-	-	-	-	-	-	2,4	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	1,6	2,9	2,5	4,2	7,3	-	3,4	4,9	-	-	-	0,01	3,1	2,6

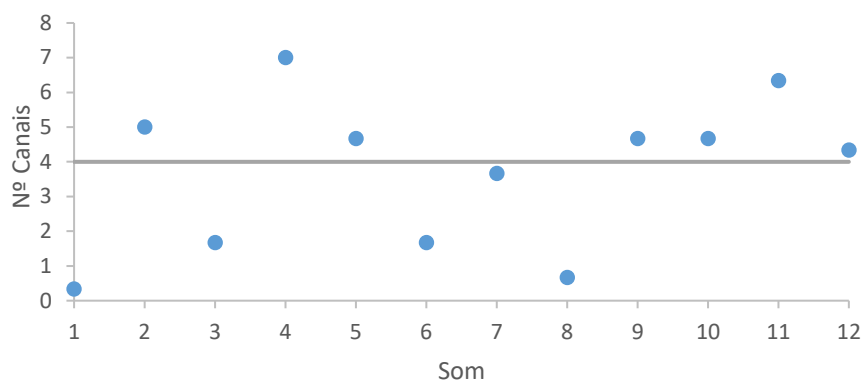


Figura 7-7 - Representação gráfica da média do nº de canais que apresentaram alterações significativas na presença de cada um dos 12 sons, considerando os resultados associados aos ritmos cerebrais teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som. A reta cinzenta é representativa da separação entre o grupo de sons que se considerou como apresentando menos alterações ao nível dos ritmos cerebrais e o grupo de sons que apresentou mais alterações.

Tabela 7-7 – Divisão dos 12 sons no que respeita à intensidade, à forma de onda e à análise espectral. No que toca à intensidade, o grupo 1 associa os sons considerados estáticos e o grupo 2 inclui os sons com mais variabilidade. Quando à forma de onda, o grupo 1 representa os sons com uma forma de onda mais estável ao longo do tempo, estando o grupo 2 associado aos que possuem formas de onda mais complexas. Relativamente à análise espectral, o grupo 1 está associado os sons cujo espectro se restringe a uma determinada gama de frequências e o grupo 2 àqueles cujo espectro se prolonga numa vasta gama de frequências.

	Grupo 1	Grupo 2
Intensidade	1 3 6 7	2 4 5 8 9 10 11 12
Forma de onda	1 4 6 7	2 3 5 8 9 10 11 12
Análise Espectral	1 2 6 7 8 10 12	3 5 9 11

A distribuição dos sons apresentada não parece estar associada à frequência, mas aproxima-se da divisão estabelecida no que respeita à forma de onda, o que sugere que este parâmetro pode também influenciar a ativação cerebral: sons com uma forma de onda mais estável não têm tanta influência sobre a atividade cerebral, enquanto sons com formas de onda mais complexas tendem a ativar mecanismos de processamento cognitivo. É ainda de salientar que, pela comparação com os resultados dos questionários, a distribuição em causa não parece

relacionar-se com as qualidades dos sons nem com o facto de estas serem mais ou menos evidentes.

Na tabela 7-8 encontram-se sintetizados os resultados dos mapas topográficos associados às diferenças na potência dos ritmos cerebrais entre o período de silêncio e de aplicação de estímulo. Estes mapas foram construídos individualmente para cada sujeito e para cada aquisição, correspondente a um som. No entanto, os resultados apresentados constituem uma análise estatística considerando os mapas de todos os indivíduos, para cada som. Assim, apresentam-se apenas as evidências observadas com uma percentagem igual ou superior a 50% da amostra total. No anexo V encontram-se alguns dos mapas que permitiram a construção desta tabela, devidamente identificados.

Os mapas topográficos permitiram uma análise alternativa que proporciona uma noção da localização da atividade cerebral, que não é tão intuitiva na observação dos resultados dos testes t.

Tabela 7-8 - Resultados dos mapas topográficos no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada região cerebral, considerando os períodos de silêncio e de estímulo de todos os indivíduos. As setas com o sentido de cima para baixo (\downarrow) indicam que se verificou uma diminuição significativa da atividade do ritmo cerebral em questão, enquanto as setas com o sentido de baixo para cima (\uparrow), indicam que se verificou um aumento significativo dessa atividade.

Região		Som											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frontal	θ	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
	α	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	
	β				\downarrow	\downarrow						\downarrow	
Temporal	θ												
	α												
	β		\downarrow		\downarrow		\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow		
Parietal	θ		\downarrow							\downarrow			
	α						\downarrow				\downarrow		
	β												
Occipital	θ												
	α	\downarrow		\uparrow	\downarrow	\downarrow				\downarrow	\uparrow		\downarrow
	β												

Da observação dos resultados associados aos mapas pode concluir-se que os sons que menos influência exerceram na atividade cerebral foram os sons 1, 3, 8 e 12. Entre estes, os sons 1, 3 e

8 revelam um comportamento que está em concordância com os resultados observados através dos testes t, indicando que os mesmos não têm tendência para ativar mecanismos associados a funções cognitivas. Mais uma vez, entre o grupo de sons considerados estáticos, o som 7 não se inclui no grupo dos que provocam menos alterações ao nível dos ritmos cerebrais, sendo, no entanto, um dos que menos alterações apresenta entre os restantes sons, o que está em concordância com resultados anteriores. Note-se ainda que também o comportamento dos sons 2, 4, 5, 9, 10 e 11 se assemelha aos resultados dos testes t, sendo estes associados à ativação de mecanismos de processamento cognitivo. Apenas os sons 6 e 12 não se apresentam em concordância com os resultados anteriores. No entanto, sendo a análise dos mapas de carácter qualitativo, esta divergência de resultados não é considerada relevante, dando-se prevalência aos resultados dos testes t. Neste contexto note-se também que, apesar de ser evidente a tendência para um decréscimo da potência dos vários ritmos cerebrais na presença de um estímulo auditivo, surgem, nos resultados dos mapas topográficos, alguns resultados contrários, que indicam um aumento da potência de determinados ritmos, o que não se verifica nos resultados associados aos testes t.

É ainda de ressaltar que, nos resultados associados aos mapas, é salientada a influência dos sons, principalmente, na região frontal do cérebro, que se encontra associada a funções cognitivas como a atenção e a memória (Chayer e Freedman, 2001).

7.2.3. INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE FORMAÇÃO AUDITIVA

Na tabela 7-9 podem encontrar-se os resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, cada som e cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo TMI. A tabela 7-10 apresenta os resultados dos testes t nas mesmas condições, mas relativos aos períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo MA. Dada a pouca relevância dos resultados dos testes t referentes ao grupo SFM, uma vez que as alterações verificadas foram muito pouco significativas, não foi incluída nesta secção a tabela de resultados associada a este grupo. No entanto, esta pode ser consultada no Anexo VI. A figura 7-8 trata-se de uma representação gráfica dos resultados associados às três tabelas supracitadas.

Tabela 7-9 - Resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo TMI. Na tabela apresentam-se os valores das diferenças entre os integrais das curvas PSD para os dois períodos mencionados. Os valores representados a vermelho estão associados a diferenças negativas, ou seja, indicam que se verificou uma diminuição da atividade do ritmo cerebral em questão; os valores não representados (-) dizem respeito às alterações não significativas.

Som		Canal													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	4,7	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	3,4	-	-	-	-	6,7	3,8	-	3,0	-	-	-	-
3	θ	4,8	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	3,0	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-
	β	-	-	-	1,9	-	-	2,2	4,0	-	-	2,3	2,0	-	4,4
4	θ	11,4	-	-	-	1,9	3,6	2,2	-	2,5	2,9	-	-	-	12,3
	α	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	-	-	-	8,5
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	θ	-	-	-	-	-	-	2,6	-	-	1,5	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	θ	17,5	-	-	-	-	3,0	3,3	-	3,4	-	-	-	-	16,2
	α	11,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	3,2	7,6
	β	-	-	-	-	6,7	5,2	4,2	-	2,5	-	-	-	-	-
8	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-
10	θ	-	-	-	-	3,1	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	21,9	-	-	1,0	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	4,4	2,8	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	θ	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	1,0	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	1,9
	β	1,0	-	-	-	-	-	1,6	2,2	-	-	-	-	-	-

Tabela 7-10 - Resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo MA. Na tabela apresentam-se os valores das diferenças entre os integrais das curvas PSD para os dois períodos mencionados. Os valores representados a vermelho estão associados a diferenças negativas, ou seja, indicam que se verificou uma diminuição da atividade do ritmo cerebral em questão; os valores a preto indicam diferenças positivas; os valores não representados (-) dizem respeito às alterações não significativas.

Som		Canal													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	θ	8,6	1,9	-	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	θ	-	-	-	-	-	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	θ	3,2	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	6,3	-	-	-	5,5	6,6	-	-
7	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	θ	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	0,7	-	-
	α	-	-	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	θ	-	-	-	-	-	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	θ	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	θ	4,0	-	-	-	-	-	-	3,6	4,1	1,1	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	7,0	-	-	4,4	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	1,6	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	-	-

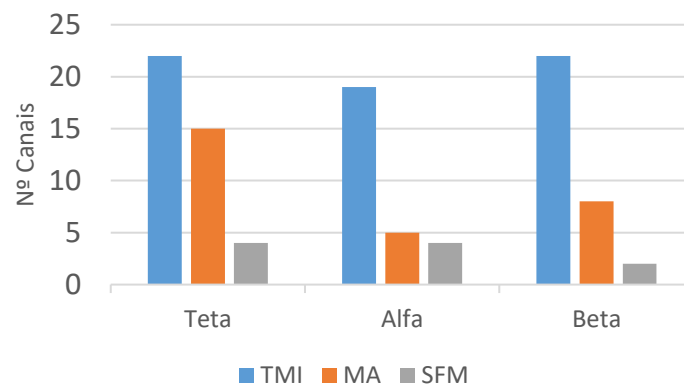


Figura 7-8 - Representação gráfica do nº de canais que apresentaram alterações significativas na presença de estímulo, considerando os resultados associados aos 12 sons, para os ritmos cerebrais teta (θ), alfa (α) e beta (β) e fazendo uma distinção entre o grupo TMI, representado a azul, o grupo MA, representado a laranja, e o grupo SFM, representado a cinzento.

Da observação dos resultados das três tabelas em questão, pode concluir-se que a influência da presença de um estímulo auditivo na atividade cerebral aumenta com o nível de formação musical. Sendo o grupo que apresenta um maior número de alterações significativas entre os períodos de silêncio e aplicação de estímulo, o grupo TMI é aquele cuja atividade cerebral sofre mais influência da presença de um estímulo auditivo. Sendo esta influência negativa, ou seja, associada a uma diminuição da potência dos vários ritmos cerebrais presentes, os resultados indicam, dadas as conclusões discutidas nas secções anteriores, que, na presença de um som, os indivíduos do grupo TMI tendem a ativar mecanismos de processamento cognitivo. Este resultado parece lógico, uma vez que, estando a análise de sons associada à área de formação dos indivíduos deste grupo, estes tendem a entrar num estado de atenção focalizada na presença de um estímulo auditivo, mais ainda porque foram previamente alertados para o facto de terem de avaliar as suas qualidades. Além disso, vários estudos comprovam que a percepção de um estímulo é modulada pela experiência passada e pelo treino induzido do cérebro, nomeadamente, no caso de estímulos auditivos, pela formação musical (Grahn e Rowe, 2009; Schneider e Wengenroth, 2009; Sloos, 2015).

Ao grupo TMI segue-se o grupo MA e, a este, o grupo SFM, o que está também de acordo com o que seria de esperar, uma vez que os indivíduos pertencentes ao grupo MA têm menos experiência em análise de sons do que os indivíduos do grupo TMI, mas mais do que os indivíduos associados ao grupo SFM. Ainda assim, a diferença de resultados entre os grupos MA

e SFM pode não ser tão significativa, uma vez que a amostra associada ao grupo SFM é relativamente reduzida, comparativamente com a amostra referente aos restantes grupos.

No que respeita às diferenças entre sons, para o grupo TMI, pode dizer-se que os sons 1, 5, 6, 8 e 9 foram os que menos contribuíram para a alteração da atividade cerebral, sendo que os restantes, 2, 3, 4, 7, 10, 11 e 12, realizam maior influência sobre a mesma. De facto, os sons 1, 6 e 8 foram já discutidos em secções anteriores por serem sons com pouco significado e, portanto, não ativarem tanto os mecanismos associados a funções cognitivas. Também os sons 2, 4, 10, 11 e 12 estão em concordância com os resultados anteriormente verificados: sons mais variáveis, mais enérgicos, tendem a provocar mais alterações a nível dos ritmos cerebrais e, provocando tendencialmente um decréscimo desses ritmos, estão associados à ativação dos mecanismos de processamento cognitivo do cérebro. Para o grupo TMI, apenas os sons 3, 5, 7 e 9 não estão em concordância com os resultados anteriormente discutidos. Considerando o grupo MA, note-se que os sons 1, 3 e 7 não provocam qualquer alteração significativa no que respeita à potência dos ritmos cerebrais, o que vai ao encontro dos resultados anteriores. Apenas os sons 6 e 8 não se enquadram no grupo dos sons que menos influenciam a atividade cerebral, não sendo, ainda assim, dos sons que mais alterações provocam, pelo que a divergência de resultados não é significativa. Tal como já foi mencionado, os resultados relativos ao grupo SMF não se apresentam relevantes.

Nas tabelas 7-11, 7-12 e 7-13 apresentam-se os resultados da análise estatística relativa aos mapas topográficos associados às diferenças na potência dos ritmos cerebrais entre o período de silêncio e de aplicação de estímulo, considerando os grupos TMI, MA e SFM, respetivamente. Apresentam-se apenas as evidências observadas com uma percentagem igual ou superior a 50% do total de cada uma das amostras.

Tabela 7-11 - Resultados dos mapas topográficos no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada região cerebral, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo TMI. As setas com o sentido de cima para baixo (\downarrow) indicam que se verificou uma diminuição significativa da atividade do ritmo cerebral em questão, enquanto as setas com o sentido de baixo para cima (\uparrow), indicam que se verificou um aumento significativo dessa atividade.

Região		Som											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frontal	θ	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
	α	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
	β	\uparrow					\downarrow	\downarrow		\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
Temporal	θ												
	α										\downarrow		
	β	\downarrow		\downarrow						\downarrow		\downarrow	
Parietal	θ		\downarrow			\downarrow		\downarrow					
	α		\downarrow	\downarrow	\downarrow						\downarrow	\downarrow	\downarrow
	β	\downarrow	\downarrow		\downarrow								
Occipital	θ		\downarrow										
	α	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow			\downarrow			\uparrow		\downarrow
	β						\downarrow	\downarrow					

Tabela 7-12 - Resultados dos mapas topográficos no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada região cerebral, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo MA. As setas com o sentido de cima para baixo (\downarrow) indicam que se verificou uma diminuição significativa da atividade do ritmo cerebral em questão, enquanto as setas com o sentido de baixo para cima (\uparrow), indicam que se verificou um aumento significativo dessa atividade.

Região		Som											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frontal	θ	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	
	α		\downarrow	\uparrow	\downarrow		\downarrow			\uparrow		\downarrow	
	β	\downarrow		\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow		\downarrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow	
Temporal	θ				\downarrow		\downarrow						
	α				\downarrow								
	β		\downarrow		\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow		\downarrow	\downarrow		\downarrow
Parietal	θ		\downarrow							\downarrow			
	α		\downarrow		\downarrow		\downarrow			\downarrow			
	β			\downarrow	\downarrow		\downarrow						
Occipital	θ												
	α	\uparrow				\downarrow				\downarrow		\downarrow	
	β						\downarrow						

Tabela 7-13 - Resultados dos mapas topográficos no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β), para cada som e para cada região cerebral, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo SFM. As setas com o sentido de cima para baixo (\downarrow) indicam que se verificou uma diminuição significativa da atividade do ritmo cerebral em questão, enquanto as setas com o sentido de baixo para cima (\uparrow), indicam que se verificou um aumento significativo dessa atividade.

Região		Som											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frontal	θ	\downarrow		\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
	α		\downarrow		\downarrow				\downarrow	\downarrow			
	β				\downarrow						\downarrow	\downarrow	
Temporal	θ												
	α												
	β	\downarrow				\uparrow				\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
Parietal	θ				\downarrow			\downarrow		\downarrow	\downarrow		\downarrow
	α						\downarrow	\downarrow					
	β												
Occipital	θ	\downarrow			\downarrow		\downarrow	\downarrow				\downarrow	\downarrow
	α			\uparrow		\uparrow	\downarrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow		
	β												

Os resultados associados aos mapas parecem estar em acordo com os resultados dos testes t, uma vez que se observam mais alterações na potência dos ritmos cerebrais no grupo TMI e menos alterações no grupo SFM.

Da observação dos resultados das tabelas 7-11, 7-12 e 7-13 verifica-se, novamente, que, apesar de ser evidente a tendência para um decréscimo da potência dos vários ritmos cerebrais na presença de um estímulo auditivo, surgem alguns resultados inversos, indicando um aumento da potência de determinados ritmos, o que não se verifica nos resultados associados aos testes t. Volta também a verificar-se uma tendência para uma maior ativação da região frontal na presença de sons.

No tocante às diferenças provocadas pelos vários sons podem distinguir-se aqueles com menos influência sobre a atividade cerebral como sendo: os sons 5, 6, 8 e 9 para o grupo TMI; 7, 8 e 12 para o grupo MA; e 1, 2, 3, 5 e 8 para o grupo SFM. Os resultados para o grupo TMI estão em concordância com os resultados dos testes t, com a única diferença de que estes últimos incluem ainda o som 1 no conjunto de sons com menos influência sobre a atividade cerebral. Quanto aos grupos MA e SFM, os resultados apresentam algumas concordâncias e algumas divergências comparativamente ao que seria de esperar da análise dos resultados dos testes t. Contudo, tal

como já foi referido, devido ao carácter qualitativo associada aos resultados dos mapas topográficos, a divergência entre os resultados não é considerada relevante.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente projeto tinha como objetivo primário a avaliação das alterações na atividade elétrica espontânea do cérebro produzidas pela aplicação de estímulos auditivos com determinadas características, incluindo uma distinção entre as alterações verificadas em indivíduos com e sem formação musical específica e ainda, num ponto intermédio, em indivíduos considerados músicos amadores, com o intuito de inferir acerca da existência de tendências na percepção auditiva dos três grupos diferentes.

De forma a dar resposta a estes objetivos, apresentam-se ao longo do presente capítulo, as conclusões gerais do estudo e a contribuição do mesmo para a área científica em questão. São também aqui discutidas as limitações da metodologia das quais decorrem sugestões para desenvolvimentos futuros.

8.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

No que respeita à análise dos questionários, apesar de os resultados não se apresentarem em total conformidade com o estudo de Pires (2012), a divergência nas respostas centra-se entre opções mais próximas dentro da mesma qualidade, ou seja, parece existir uma tendência para a confusão entre um som brilhante e um som claro e entre um som escuro e um som baço, no que respeita à cor, e entre um som rugoso e um som granuloso, no que respeita à textura. Além disso, os resultados sugerem que existem sons para os quais as suas características são mais evidentes, sendo mais unânime a sua classificação tanto para a amostra considerada no presente estudo, como para a considerada no estudo de Pires (2012). Os indivíduos que apresentam uma maior concordância com os resultados observados no estudo de Pires (2012) são os sujeitos pertencentes ao grupo TMI, o que sugere que, para estes indivíduos, não existe tanta confusão entre as várias opções para as qualidades estudadas, estando para os mesmos melhor estabelecida a barreira entre elas. Note-se também que a mobilidade dos sons é a característica que apresenta uma maior concordância entre os resultados dos dois estudos em

questão, podendo, portanto, concluir-se que se trata de uma característica que gera bastante consenso.

No que respeita aos resultados associados à análise dos sinais EEG, pode concluir-se que a presença de um som tende a provocar uma diminuição da potência das frequências relativas aos ritmos cerebrais teta, alfa e beta, que, por sua vez, está associada, tanto quando se sabe da literatura, à ativação de mecanismos de processamento cognitivo, tanto ao nível da atenção, como da memória e, principalmente, no que respeita ao sistema auditivo (Klimesch et al, 2007; Knyazev, 2007; Mantini et al, 2007; Medendorp et al, 2007; Uhlhaas et al, 2009; Engel e Fries, 2010; Carrus et al, 2011; Händel et al, 2011; Rosazza e Minati, 2011; Chen et al, 2015; Bonnard et al, 2016; Meijer et al, 2016). Os resultados parecem também sugerir a presença de mecanismos de percepção modal cruzada, o que se mostra relevante dado que a metodologia seguida no estudo se encontra intimamente associada a questões de sinestesia.

Tendo em conta as diferenças entre os vários sons aplicados, apesar de não ter sido possível relacionar os resultados com as qualidades dos sons associadas campo da matéria e da posição, nem com o facto de estas serem mais ou menos evidentes, foi possível relacioná-los com a forma de onda e, principalmente, com a intensidade dos sons. De facto, os sons mais estáticos, e com uma forma de onda mais estável ao longo do tempo, tendem a ter menos influência sobre a atividade cerebral, enquanto o contrário é verificado com os sons de intensidade variável e formas de onda mais complexas. Note-se ainda que entre os sons que têm mais influência sobre a atividade cerebral, a maioria são sons com qualidades relevantes no que respeita ao campo da posição, o que parece indicar que os sons particularmente associados a características deste campo tendem a ser mais preponderantes na ativação cerebral do que os sons associados, sobretudo, a qualidades do campo da matéria. Este resultado parece ter alguma relação com os resultados dos questionários, uma vez que estes também identificam uma das qualidades do campo das posições, a mobilidade, como a que gera mais unanimidade.

Finalmente, os resultados do estudo sugerem que a influência da presença de um estímulo auditivo na atividade cerebral aumenta com o nível de formação musical.

8.2. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Apesar da abordagem à temática em questão ter produzido resultados bastantes satisfatórios, indo ao encontro do que já foi verificado noutros estudos associados ao mesmo tema, sugerem-se algumas possibilidades para trabalhos futuros que combatam algumas limitações observadas na metodologia seguida ou que possam fortalecer e consolidar as conclusões apresentadas na secção anterior.

A primeira sugestão prende-se com o equipamento de aquisição de sinal EEG. De facto, apesar de o Emotiv EPOC ser um equipamento relativamente barato, prático e com bons resultados a nível de pesquisa científica (Khushaba *et al*, 2012; Boutani e Ohsuga, 2013; Duvinage *et al*, 2013; Hairston *et al*, 2014; Badcock *et al*, 2015), seria interessante confirmar os resultados do presente estudo recorrendo a um aparelho de EEG convencional. De facto, o aumento do número de canais por este proporcionado permitiria a obtenção de resultados mais precisos no que respeita a questões de localização, podendo conduzir a associações entre as estruturas e regiões relativas ao processamento dos vários sons e as suas características, o que não foi possível recorrendo ao equipamento utilizado. Neste contexto, talvez fosse relevante analisar também a atividade elétrica cerebral durante algum tempo após a audição do som.

Igualmente interessante seria uma abordagem à temática recorrendo à técnica de *fMRI*, de forma a procurar uma correlação entre os resultados obtidos no presente estudo e as flutuações de sinal BOLD associadas às várias RNR. Este método acarretaria, no entanto, outros obstáculos, principalmente relacionados com a aplicação dos estímulos auditivos - uma vez que se trata de um equipamento com bastante ruído sonoro e cuja configuração obriga ao isolamento da cabeça do sujeito - pelo que implicaria uma escolha cuidada da metodologia a adotar.

Uma outra sugestão envolve o estudo da complexidade do sinal. A PSD de uma grande variedade de sistemas físicos apresenta um comportamento aproximado a $1/f$, para baixas frequências, sendo este considerado uma manifestação característica de complexidade (Torre e Wagenmakers, 2009; Gontis *et al*, 2004; Gilden *et al*, 1995; Zhang, 1991; Milotti, s.d.; Howard, 2015). Este comportamento parece surgir associado às curvas PSD da maioria dos sinais EEG associados ao presente estudo, tanto nos períodos de silêncio como nos de aplicação de estímulo, sendo que estes apenas diferem no declive associado à curva, tal como se ilustra na

figura 6-9¹. Estes resultados parecem sugerir que os sinais relativos aos dois períodos de tempo podem estar associados a níveis de complexidade diferentes. Assim, e dado que a análise da complexidade tem sido uma técnica bastante utilizada para avaliar alterações na dinâmica do sinal de EEG, pondo-se a hipótese de esta aumentar com o aumento da atividade neuronal, seria de todo o interesse estudar, futuramente, a complexidade dos sinais associados aos dois períodos (Yi e Yingle, 2005; Lafontaine *et al*, 2016; Rezek e Roberts, 1998; Najarian e Splinter, 2005).

Finalmente, uma das maiores limitações encontradas passou pelo número reduzido de indivíduos constituintes da amostra em estudo, sendo, portanto, importante validar os resultados obtidos, aumentando consideravelmente o tamanho da amostra.

Apesar das limitações acima mencionadas, a reunião dos resultados obtidos vem fortalecer a base científica da temática da percepção de estímulos auditivos, na medida em que os mesmos estão de acordo com pesquisas já desenvolvidas na área. O presente estudo constitui, assim, mais um alicerce para apoiar investigações científicas futuras orientadas para o desenvolvimento de novas abordagens à utilização de estímulos auditivos enquanto terapia complementar no tratamento de distúrbios do foro neurofisiológico, quer promovendo diferentes estados de espírito como através da estimulação de diferentes áreas cerebrais.

¹ Ver 6.5.2 Sinal EEG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbediKoupaeia, M., Poushanehb, K., Mohammadic, A.Z., Siampour, N. (2013). Sound Therapy: an Experimental Study with Autistic Children. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 84: 626–630. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.06.615.
- Alberts, B. et al. (2002). *Molecular Biology of the Cell*. 4ª edição, Routledge. Oxford.
- Alluri, V., Toiviainen, P., Lund, T.E., Wallentin, M., Vuust, P., Nandi, A.K., Ristaniemi, T. e Brattico, E. (2013). From Vivaldi to Beatles and back: Predicting lateralized brain responses to music. *NeuroImage*, 83: 627–636. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.06.064.
- Almeida, C.C.S. (2013). *Análise de Técnicas Separação Cega de Fontes para remoção de Artefactos em Interfaces Cérebro-Máquina*. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Informação. Universidade Federal do ABC, Santo André. 86 pp.
- Arias, P., Cudeiro, J. (2008). Effects of rhythmic sensory stimulation (auditory, visual) on gait in Parkinson's disease patients. *Exp Brain Res*, 186: 589–601. doi: 10.1007/s00221-007-1263-y.
- Badcock, N.A., Preece, K.A., deWit, B., Glenn, K., Fieder, N. Thie, J., McArthur, G. (2015). Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children. *PeerJ*, 3:e907. doi: 10.7717/peerj.907.
- Bao, Y., Szymaszek, A., Wang, X., Oron, A., Pöppel, E. e Szelag, E. (2013). Temporal order perception of auditory stimuli is selectively modified by tonal and non-tonal language environments. *Cognition*, 129: 579–585. doi: 10.1016/j.cognition.2013.08.019.
- Barrazaa, P., Jaume-Guazzinib, F., Rodríguez, E. (2016). Pre-stimulus EEG oscillations correlate with perceptual alternation of speech forms. *Neuroscience Letters*, 622: 24–29. doi: 10.1016/j.neulet.2016.04.038.
- Bassalo, J.M.F. e Cattani, M.S.D. (2009). *Osciladores Harmônicos Clássicos e Quânticos*. Editora Livraria da Física. São Paulo.
- Bengtsson, S.L., Ullén, F., Ehrsson, H.H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., et al. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, 45(1): 62–71. doi:10.1016/j.cortex.2008.07.002.
- Benjamin, W.E. (1984). A theory of musical meter. *Music Percept*, 1: 355–413. doi: 10.2307/40285269.
- Benoit, C.E., Dalla Bella, S., Farrugia, N., Obrig, H., Mainka, S., Kotz, S.A. (2014). Musically cued gait-training improves both perceptual. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8: 494. doi:10.3389/fnhum.2014.00494.
- Berland, A., Gaillard, P., Guidetti, M. e Barone, P. (2015). Perception of Everyday Sounds: A Developmental Study of a Free Sorting Task. *PLoS ONE*, 10(2). doi:10.1371/journal.pone.0115557.

- Bernatzky, G., Bernatzky, P., Hesse, H.P., Staffen, W., Ladurner, G. (2004). Stimulating music increases motor coordination in patients afflicted with Morbus Parkinson. *Neuroscience Letters*, 361(1–3): 4–8. doi: 10.1016/j.neulet.2003.12.022.
- Bijsterbosch, J.D., Lee, K.H., Hunter, M.D., Tsoi, D.T., Lankappa, S., Wilkinson, I.D., et al. (2011). The Role of the Cerebellum in Sub- and Supraliminal Error Correction during Sensorimotor Synchronization: Evidence from fMRI and TMS. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(5): 1100–1112. doi:10.1162/jocn.2010.21506.
- Boeijinga, P.H. (2015). Multimodal EEG Recordings, Psychometrics and Behavioural Analysis. *Neuropsychobiology*, 72:206–218. doi: 10.1159/000437434.
- Bonnard, M., Chen, S., Gaychet, J., Carrere, M., Woodman, M., Giusiano, B. e Jirsa, V. (2016). Resting state brain dynamics and its transients: a combined TMS-EEG study. *Scientific Reports*, 6:31220. doi: 10.1038/srep31220.
- Borges e Nicolau. (28 de Outubro de 2013). *Energia potencial Gravitacional e Elástica. Energia Mecânica*. Obtido de Os fundamentos da física: http://osfundamentosdafisica.blogspot.pt/2013/10/cursos-do-blog-mecanica_28.html. Acedido em 28 de Janeiro de 2016.
- Boutani, H., Ohsuga, M. (2013). Applicability of the "Emotiv EEG Neuroheadset" as a User-friendly Input Interface. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 35th Annual International Conference of the IEEE 3 Jul. 2013: 1346-1349.
- Bugli, C. e 1 Lambert, P. (2006). Comparison between Principal Component Analysis and Independent Component Analysis in Electroencephalograms Modelling. *Biometrical Journal*, 48(5): 1–16. doi: 10.1002/bimj.200510285.
- Butterworth Filter Design*. (s.d.). Obtido de http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_8.html. Acedido em Agosto de 2016.
- Carrer, L.R.J. (2015). Music and sound in time processing of children with ADHD. *Frontiers in Psychiatry*, 6: 127. doi: 10.3389/fpsy.2015.00127.
- Carrus, E., Koelsch, S., Bhattacharya, J. (2011). Shadows of music–language interaction on low frequency brain oscillatory patterns. *Brain & Language*, 119: 50–57. doi:10.1016/j.bandl.2011.05.009.
- Chanda, M.L., Levitin, D.J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(4): 179–93. doi: 10.1016/j.tics.2013.02.007.
- Chapman, S.J. (2008). Introduction to MATLAB. Em *Essentials of MATLAB Programming, Volume 10* (pp. 2-3). Cengage Learning.
- Chayer, C. e Freedman, M. (2001). Frontal Lobe Functions. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 1: 547–552.
- Chen, G., Rasch, M., Wang, R. Zhang, X. (2015). Experience-dependent emergence of beta and gamma band oscillations in the primary visual cortex during the critical period. *Scientific Reports*, 5:17847. doi: 10.1038/srep17847.

- Chen, J.L., Penhune, V.B., Zatorre, R.J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, 18(12): 2844–54. doi:10.1093/cercor/bhn042.
- Christison-Lagay, K.L., Gifford, A.M. e Cohen, Y.E. (2014). Neural correlates of auditory scene analysis and perception. *International Journal of Psychophysiology*, 95(2): 238–245. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2014.03.004.
- Clark, D.L., Boutros, N.N. e Mendez, M.F. (2010). *The Brain and Behavior: An Introduction to Behavioral Neuroanatomy*. Cambridge University Press. Cambridge.
- del Olmo, M.F., Cudeiro, J. (2005). Temporal variability of gait in Parkinson disease: effects of a rehabilitation programme based on rhythmic sound cues. *Parkinsonism and Related Disorders*, 11(1): 25–33. doi: 10.1016/j.parkreldis.2004.09.002.
- Deuschl, G. e Eisen, A. (1999). *Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. Elsevier. Amsterdão.
- Dinis, R. (s.d.). *Power Signals : Power Spectral Density and Autocorrelation Examples of signals (periodic, noise, digital)*. 11pp.
- Duvinage, M., Castermans, T., Petieau, M., Hoellinger, T., Cheron, G., Dutoit, T. (2013). Performance of the Emotiv Epoc headset for P300-based applications. *BioMedical Engineering OnLine*, 12:56.
- Engel, A.K., Fries, P. (2010). Beta-band oscillations - signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20:156–165. doi: 10.1016/j.conb.2010.02.015.
- Estrada, E., Nazeran, H., Nava, P., Behbehani, K., Burk, J. e Lucas E. (2004). EEG Feature Extraction for Classification of Sleep Stages. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, p. 196-199.
- Fernandes, N.G.P. (2011). *SleepLab V.2.0: Plataforma Integrada de Teste de Algoritmos para Classificação Não Supervisionada do Sono*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 113 pp.
- Fox, M.D., Raichle, M.E. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature Reviews - Neuroscience*, 8: 700-711. doi:10.1038/nrn2201.
- Fukushima, M., Saunders, R.C., Leopold, D.A., Mishkin, M. e Averbeck, B.B. (2012). Spontaneous High-Gamma Band Activity Reflects Functional Organization of Auditory Cortex in the Awake Macaque. *Neuron*, 74: 899–910. doi: 10.1016/j.neuron.2012.04.014.
- Gamboa, H. (Dezembro de 2005). *Electroencephalography*. Obtido de Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>. Acedido em 23 de Janeiro de 2016.
- Gilden, D.L., Thornton, T., Mallon, M.W. (1995). 1/f Noise in Human Cognition. *Science*, 267: 1837-1839.
- Goldstein, E.B. (2007). *Sensation & Perception*. Thomson Wadsworth, inc. Belmont.

- Gontis, V., Kaulakys, B., Alaburda, M. e Ruseckas, J. (2004). Evolution of Complex Systems and 1/f Noise: from Physics to Financial Markets . *Trans Tech Publications*, 97-98: 65-70. doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.97-98.65.
- Grahn, J.A. (2009). The Role of the Basal Ganglia in Beat Perception: Neuroimaging and Neuropsychological Investigations. *N.Y. Acad. Sci.*, 1169: 35–45. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04553.x.
- Grahn, J.A., Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5): 893–906. doi:10.1162/jocn.2007.19.5.893.
- Grahn, J.A., Rowe, J.B. (2009). Feeling the Beat: Premotor and Striatal Interactions in Musicians and Nonmusicians during Beat Perception. *The Journal of Neuroscience*, 29(23): 7540 – 7548. doi:10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009.
- Gray. (2010). *Superior temporal gyrus*. Obtido de Wikimedia Commons: Obtido de https://commons.wikimedia.org/wiki/Gyri#/media/File:Gray726_superior_temporal_gyrus.png. Acedido em setembro de 2016.
- Guyton, A.C. e Hall, J.E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. 11ª edição, Elsevier Saunders. Philadelphia.
- Hairston, W.D., Whitaker, K.W., Ries, A.J., Vettel, J.M., Bradford, J.C., Kerick, S.E., McDowell, K. (2014). Usability of four commercially-oriented EEG systems. *Journal of Neural Engineering*, 11(4):046018. doi: 10.1088/1741-2560/11/4/046018.
- Hall, A.J., Butler, B.E. e Lomber, S.G. (2016). The cat's meow: A high-field fMRI assessment of cortical activity in response to vocalizations and complex auditory stimuli. *NeuroImage*, 127: 44–57. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.11.056.
- Händel, B.F., Haarmeier, T., Jensen, O. (2011). Alpha Oscillations Correlate with the Successful Inhibition of Unattended Stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23:9, pp. 2494–2502.
- Heine, L., Soddu, A., Gómez, F., Vanhaudenhuyse, A., Tshibanda, L., Thonnard, M., Charland-Verville, V., Kirsch, M., Laureys, S., Demertzi, A. (2012). Resting state networks and consciousness - Alterations of multiple resting state network connectivity in physiological, pharmacological, and pathological consciousness states. *Frontiers in Psychology*, 3:295. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00295.
- Hillecke, T., Nickel, A., Bolay, H.V. (2005). Scientific Perspectives on Music Therapy. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1060: 271–282. doi: 10.1196/annals.1360.020.
- Howard, R.M. (2004). *Principles of Random Signal Analysis and Low Noise Design: The Power Spectral Density and its Applications*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Howard, R.M. (2015). *A Signal Theoretic Introduction to Random Processes*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Hurt, C.P., Rice, R.R., McIntosh, G.C., Thaut, M.H. (1998). Rhythmic Auditory Stimulation in Gait Training for Patients with Traumatic Brain Injury. *Journal of Music Therapy*, 35(4): 228–241. doi: 10.1093/jmt/35.4.228.

- Hwang, H., Kim, S., Choi, S. e Im, C. (2013). EEG-Based Brain-Computer Interfaces: A Thorough Literature Survey. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(12): 814-826, doi: 10.1080/10447318.2013.780869.
- Hyde, K.L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A.C. e Schlaug, G. (2009). The Effects of Musical Training on Structural Brain Development. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1169: 182–186. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04852.x.
- Hyvärinen, A. e Oja, E. (2000). Independent Component Analysis: Algorithms and Applications. *Neural Networks*, 13(4-5):411-430.
- Im, M.L. e Lee, J.I. (2014). Effects of art and music therapy on depression and cognitive function of the elderly. *Technology and Health Care*, 22: 453–458. doi: 10.3233/THC-140803.
- Introduction to Digital Filters. (s.d.). Obtido de http://www.physics.csbsju.edu/217/digital_filter.pdf. Acedido em Agosto de 2016.
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 10: 371-375.
- Kandel, E.R. e Schwartz, J.H. . (1985). *Principles of Neural Science*. 2ª edição. New York: Elsevier.
- Kester, W. - Digital Filters. In Kester, W. - Mixed Signal and DSP Design Techniques. (2002). 1ª edição. Elsevier. ISBN-0-75067-611-6.
- Kew, J.N.C. e Davies, C.H. (2010). *Ion Channels: From Structure to Function*. Oxford University Press. Oxford.
- Khushaba, R.N., Greenacre, L., Kodagoda, S., Louviere, J., Burke, S., Dissanayake, G. (2012). Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences. *Expert Systems with Applications*, 39, 12378–12388. doi: 10.1016/j.eswa.2012.04.084.
- Klimesch, W., Sauseng, P., Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53: 63-88. doi:10.1016/j.brainresrev.2006.06.003.
- Knyazev, G.G. (2007). Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 31:377–395. doi:10.1016/j.neubiorev.2006.10.004.
- Koelsch, S. (2009). A Neuroscientific Perspective on Music Therapy. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1169: 374–384. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04592.x.
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D. e Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 25: 1068– 1076. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.12.050.
- Koelsch, S., Grossmann, T., Gunter, T.C., Hahne, A., Schroger, E. e Friederici, A.D. (2003). Children Processing Music: Electric Brain Responses Reveal Musical Competence and Gender Differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5): 683–693. doi: 10.1162/jocn.2003.15.5.683.

- Lafontaine, M.P., Lacourse, K., Lina, J., McIntosh, A.R., Gosselin, F., Théoret, H. e Lippe, S. . (2016). Brain Signal Complexity rises with Repetition Suppression. *Neuroscience*, doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.03.059.
- Lagioia, A., Van De Ville, D., Debbané, M., Lazeyras, F. e Eliez, S. (2010). Adolescent resting state networks and their associations with schizotypal trait expression. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 4(35). doi: 10.3389/fnsys.2010.00035.
- Latka, M., Kozik, A., Jernajczyk, J., West, B.J. e Jernajczyk, W. (2005). Wavelet Mapping of Sleep Spindles. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 56: 15-20.
- Lazzarini, V.E.P. (1998). *Elementos de Acústica*. Music Department - National University of Ireland. Londrina. Apostila.
- Leite, I.C.C. (2013). *Análise de Componentes Independentes Aplicada a Avaliação de Imagem Radiográfica de Sementes*. Dissertação de Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 124 pp.
- Lewine, J.D. e Orrison Jr., W.W. (1995). Magnetoencephalography and magnetic source imaging. Em W. Orrison Jr., J. Lewine, J. Sanders, & M. Hartshome, *Functional brain imaging* (pp. 369-417). St. Louis: Mosby Year-Book.
- Lim, I., van Wegen, E., de Goede, C., Deutekom, M., Nieuwboer, A., Willems, A., et al. (2005). Effects of external rhythmical cueing on gait in patients with Parkinson's disease: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 19(7): 695–713. doi: 10.1191/0269215505cr906oa.
- López-González, M.A., Cambil, E., Abrante, A., López-Fernández, R., Esteban, F. (2012). Sound Therapy in Sudden Deafness. *Acta Otorrinolaringol*, 63(3): 165-172. doi: 10.1016/j.otoeng.2012.05.002.
- Mantini, D., Perrucci, M.G., Del Gratta, C., Romani, G.L.; Corbetta, M. (2007). Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain. *PNAS*, 104:32, 3170–13175. doi: 10.1073/pnas.0700668104.
- McIntosh, G.C., Brown, S.H., Rice, R.R., Thaut, M.H. (1997). Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 62: 22-26. doi:10.1136/jnnp.62.1.22.
- Medendorp, W.P., Kramer, G.F.I., Jensen, O., Oostenveld, R., Schoffelen, J. e Fries, P. (2007). Oscillatory Activity in Human Parietal and Occipital Cortex Shows Hemispheric Lateralization and Memory Effects in a Delayed Double-Step Saccade Task. *Cerebral Cortex*, 17: 2364-2374. doi:10.1093/cercor/bhl145.
- Meijer, D., te Woerd, E., Praamstra, P. (2016). Timing of beta oscillatory synchronization and temporal prediction of upcoming stimuli. *NeuroImage*, doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.05.071.
- Miller, R.A., Thaut, M.H., McIntosh, G.C., Rice, R.R. (1996). Components of EMG symmetry and variability in parkinsonian and healthy elderly gait. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 101(1): 1–7. doi: 10.1016/0013-4694(95)00209-X.

- Milotti, E. (s.d.). *1/f noise: a pedagogical review*. Udine, Dipartimento di Fisica, Università di Udine and I.N.F.N.
- Min, W. e Luo, G. (2009). Medical Applications of EEG Wave Classification. *CHANCE*, 22(4).
- Najarian, K., Splinter, R. (2005). *Biomedical Signal and Image Processing*. CRC Press. Florida.
- Neurotoxicidade de ureases e peptídeos derivados*. (s.d.). Obtido de <http://www.ufrgs.br/laprotox/o-que-fazemos/linhas-de-pesquisa/neurotoxicidade-de-ureases-e-peptideos-derivados>. Acedido em 8 de Setembro de 2016
- Nombela, C., Hughes, L.E., Owen, A.M., Grahn, J.A. (2013). Into the groove: Can rhythm influence Parkinson's disease? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, doi:10.1016/j.neubiorev.2013.08.003.
- Nunez, P.L. (1981). *Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG*. New York: Oxford University Press.
- Nurse, E.S., Karoly, P.J., Grayden, D.B. e Freestone, D.R. (2015). A Generalizable Brain-Computer Interface (BCI) Using Machine Learning for Feature Discovery. *PLoS ONE*, 10(6). doi: 10.1371/journal.pone.0131328.
- Oppenheim, A.V., Willsky, A.S., Nawab, S.H. (1997). *Signals and Systems*. 2ª edição. New Jersey: Prentice-Hall International. ISBN 0136511759, 9780136511755.
- Pereira, C.M.Q. (1998). *Processamento de Dados Electroencefalográficos - aplicações à epilepsia*. Dissertação de Doutoramento em Biofísica. Universidade de Lisboa, Lisboa. 364 pp.
- Pereira, H.M.S. (2012). *Reconhecimento de artefactos relativos à fala em registos de EEG*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 92 pp.
- Pires, I. (2012). *Desenvolvimento de módulos informáticos para a manipulação de entidades sonoras - Um estudo do som: entre percepção, física e tecnologia*. Relatório Interno. CESEM - Universidade Nova de Lisboa.
- Pohl, P., Dizdar, N., Hallert, E. (2013). The Ronnie Gardiner Rhythm and Music Method – a feasibility study in Parkinson's disease. *Disabil Rehabil*, 35(26): 2197–2204. doi:10.3109/09638288.2013.774060.
- Raglio, A. (2015). Music therapy in Parkinson's disease: the state-of-the-art. *Frontiers in Neurology*, 6-185. doi: 10.3389/fneur.2015.00185.
- Raglio, A. e Oasi, O. (2015). Music and health: what interventions for what results? *Frontiers in Psychology*, 6: 230. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00230.
- Rani, J.A., A, U., J, S.M. (2015). An approach toward wireless brain–computer interface system using EEG signals: A review. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 5: 350-356. doi: 10.5455/njppp.2015.5.0306201555.
- Rezek, I.A. e Roberts, S.J. (1998). Stochastic Complexity Measures for Physiological Signal Analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 45(9): 1186-1191.

- Rochester, L., Burn, D.J., Woods, G., Godwin, J., Nieuwboer, A. (2009). Does Auditory Rhythmical Cueing Improve Gait in People with Parkinson's Disease and Cognitive Impairment? A Feasibility Study. *Movement Disorders*, 24(6):839–45. doi:10.1002/mds.22400.
- Rosazza, C, Minati, L. (2011). Resting-state brain networks: Literature review and clinical applications. *Neurological Sciences*, 32:773–785. doi: 10.1007/s10072-011-0636-y.
- Scheeringa, R., Fries, P., Petersson, K., Oostenveld, R., Grothe, I., Norris, D.G. (2011). Neuronal Dynamics Underlying High- and Low-Frequency EEG Oscillations Contribute Independently to the Human BOLD Signal. *Neuron*, 69: 572–583. doi: 10.1016/j.neuron.2010.11.044.
- Schneider, P. e Wengenroth, M. (2009). The Neural Basis of Individual Holistic and Spectral Sound Perception. *Contemporary Music Review*, 28(3): 315-328. doi: 10.1080/07494460903404402.
- Schomer, D.L. e Silva, F.H.L. (2011). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principals, Clinical Applications, and Related Fields*. 6ª edição, Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.
- Silva, R.N. (s.d.). *Filtragem Digital*. 26pp.
- Sloos, M. (2015). Bias in Auditory Perception. *i-Perception*, 6(5): 1–4. doi: 10.1177/2041669515607153.
- Smith, S.W. - Introduction to Digital Filters. Smith, S.W. - The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. (1999). 1ª edição. San Diego: California Technical Publishing. ISBN 0-9660176-6-8. p. 261-276.
- Speckmann, E.J. e Elger, C.E. (1993). Introduction to the neurophysiological basis of the EEG and DC potentials. Em E. Niedermeyer, & F. Silva, *Electroencephalography. Basic principles, clinical applications, and related fields*. 3ª edição. Baltimore: Williams & Wilkins. p. 15–26.
- Standring, S. (2010). *Gray's Anatomia*. Elsevier Brasil. Rio de Janeiro.
- Susmakova, K. e Krakovska, A. (2008). Discrimination Ability of Individual Measures Used in Sleep Stages Classification. *Artificial Intelligence in Medicine*, 44: 261-277.
- Teste T Pareado. (s.d.). Obtido de <http://www.portalaaction.com.br/inferencia/58-teste-t-pareado>. Acedido em Julho de 2016.
- Thaut, M.H., Abiru, M. (2010). Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Perception*, 27:263–9. doi:10.1525/MP.2010.27.4.263.
- Thaut, M.H., McIntosh, G.C., Rice, R.R., Miller, R.A., Rathbun, J., Brault, J.M. (1996). Rhythmic Auditory Stimulation in Gait Training for Parkinson's Disease Patients. *Movement Disorders*, 11(2): 193–200. doi: 10.1002/mds.870110213.
- Thaut, M.H., Stephan, K.M., Wunderlich, G., Schicks, W., Tellmann, L., Herzog H., et al. (2009). Distinct cortico-cerebellar activations in rhythmic auditory. *Cortex*, 45: 44-53. doi:10.1016/j.cortex.2007.09.009.

- Tibaduiza, D.A., Mujica, L.E., Anaya, M., Rodellar, J., Güemes, A. (s.d.). Principal Component Analysis vs. Independent Component Analysis for Damage Detection. *6th European Workshop on Structural Health Monitoring*, 1–8.
- Torre, K., Wagenmakers, E. (2009). Theories and models for 1/f noise in human movement science. *Human Movement Science*, 28: 297–318. doi:10.1016/j.humov.2009.01.001.
- Tortora, G.J. e Derrickson, B. (2009). *Principles of Anatomy and Physiology*. 12ª edição. New Jersey: John Wiley & Sons, inc. .
- Uhlhaas, P.J., Roux, F., Rodriguez, E. Rotarska-Jagiela, A. (2009). Neural synchrony and the development of cortical networks. *Trends in Cognitive Sciences*, 14:2. doi:10.1016/j.tics.2009.12.002.
- Veerarajan. (2002). *Probability, Statistics And Random Processes*. Tata McGraw-Hill Education. New York City.
- Vercoe, B. et al. (2008). *The Canonical Csound Reference Manual*. Obtido de csounds: <http://www.csounds.com/manual/html/PrefaceCopy.html>. Acedido em 7 de Fevereiro de 2016.
- Villate, J.E. (2004). *Física 3 - Ondas 1*. Obtido de Documentação para Engenharia e Física: <https://def.fe.up.pt/fisica3/ondas1/index.html>. Acedido em 28 de Janeiro de 2016.
- Wang, W., Viswanathan, S., Lee, T., Grafton, S.T. (2016). Coupling between Theta Oscillations and Cognitive Control Network during Cross-Modal Visual and Auditory Attention: Supramodal vs Modality-Specific Mechanisms. *PLoS ONE*, 11(7): e0158465. doi:10.1371/journal.pone.0158465.
- Williams, R., Gumtau, S. e Mackness, J. (2015). From Cross-Modal to Modality-Free Learning and Knowledge. *LEONARDO*, 48: 48–54. doi: 10.1162/LEON_a_00937.
- Yi, L., Yingle, F. (2005). Complexity Measure Applied to the Analysis EEG Signals. *Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 4610-4613.
- Yost, W.A. (2007). *Fundamentals of Hearing: an introduction*. 5ª edição. Elsevier.
- Zaretskaya, N., Bartels, A. (2015). Gestalt perception is associated with reduced parietal beta oscillations. *NeuroImage*, 112: 61–69. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.02.049.
- Zhang, Y. (1991). Complexity and 1/f noise. A phase space approach. *Journal de Physique I*, 1(7): 971-977. doi: 10.1051/jp1:1991180.
- Zion-Golumbic, E. (s.d.). *What is EEG?* Obtido de <https://brain.mada.org.il/articles/faces-e.pdf>. Acedido em 7 de Fevereiro de 2016.

APÊNDICES

A. APÊNDICE I – ANÁLISE DOS SONS

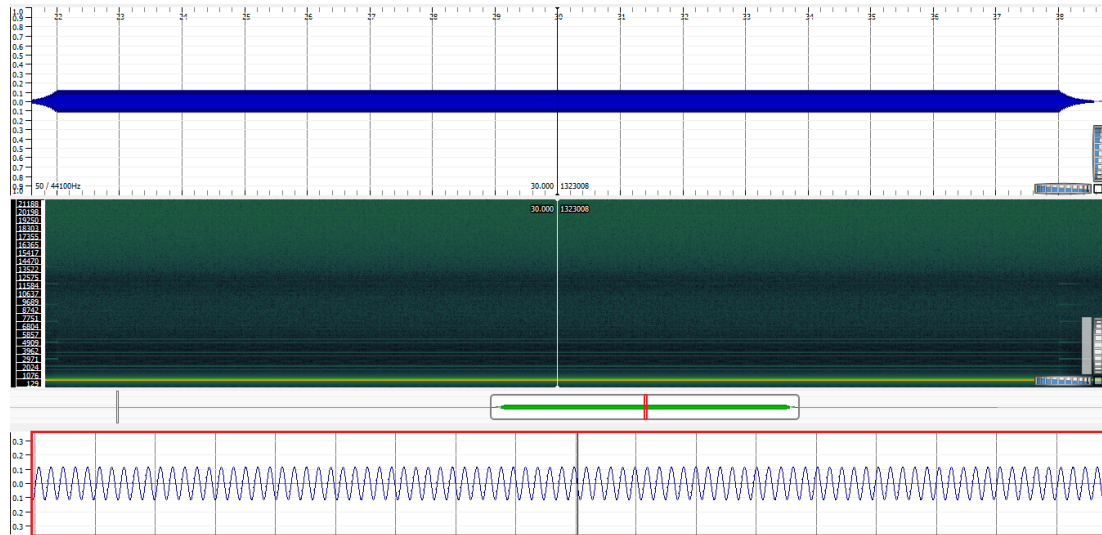


Figura A-1 – Forma de onda do som 1, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo. Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 20 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

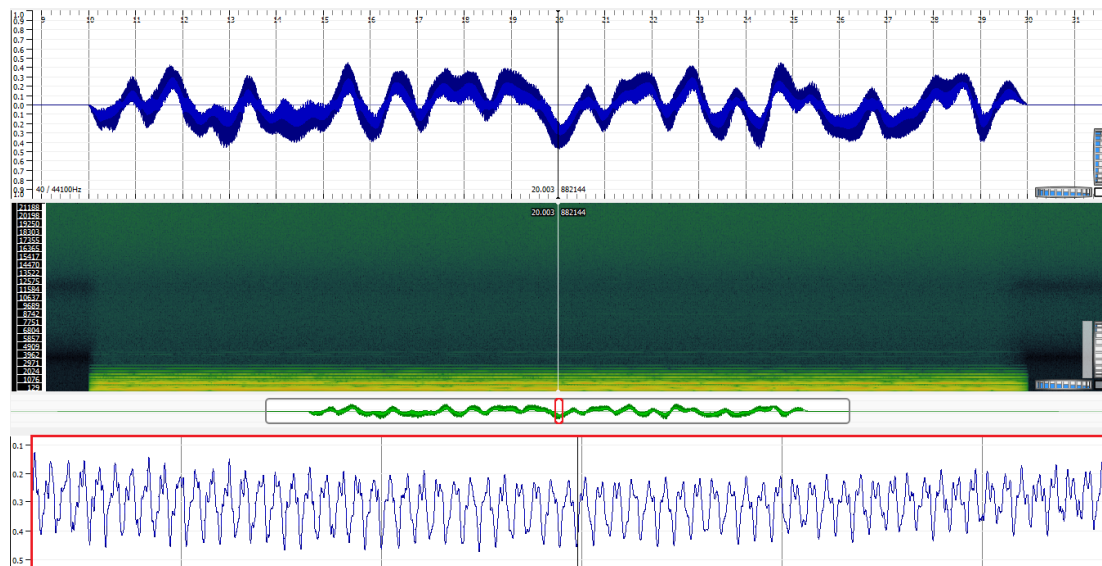


Figura A-2 - Forma de onda do som 2, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo. Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

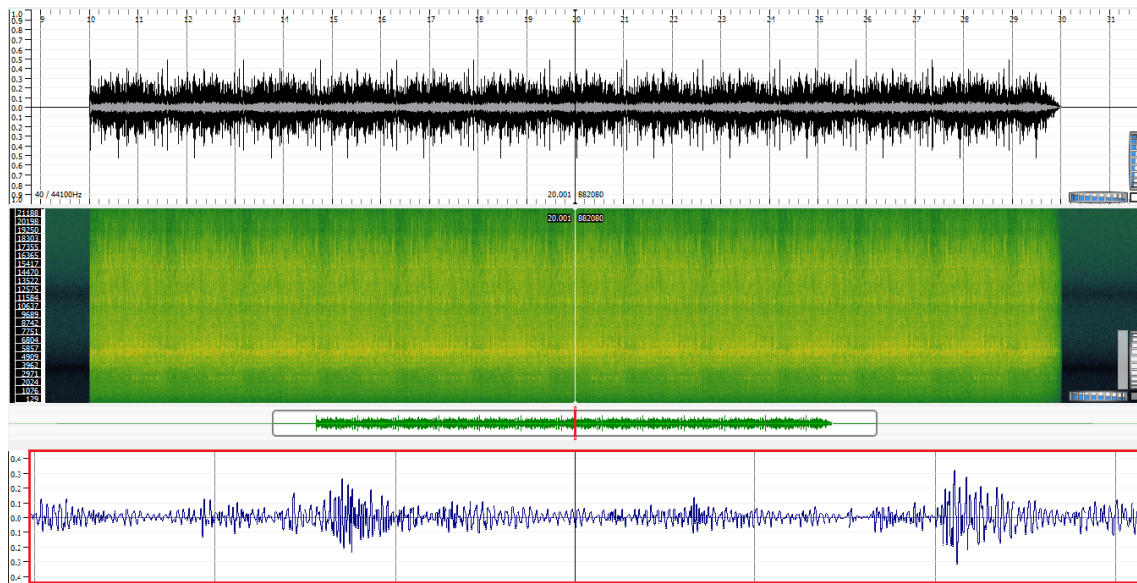


Figura A-3 - Forma de onda do som 3, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

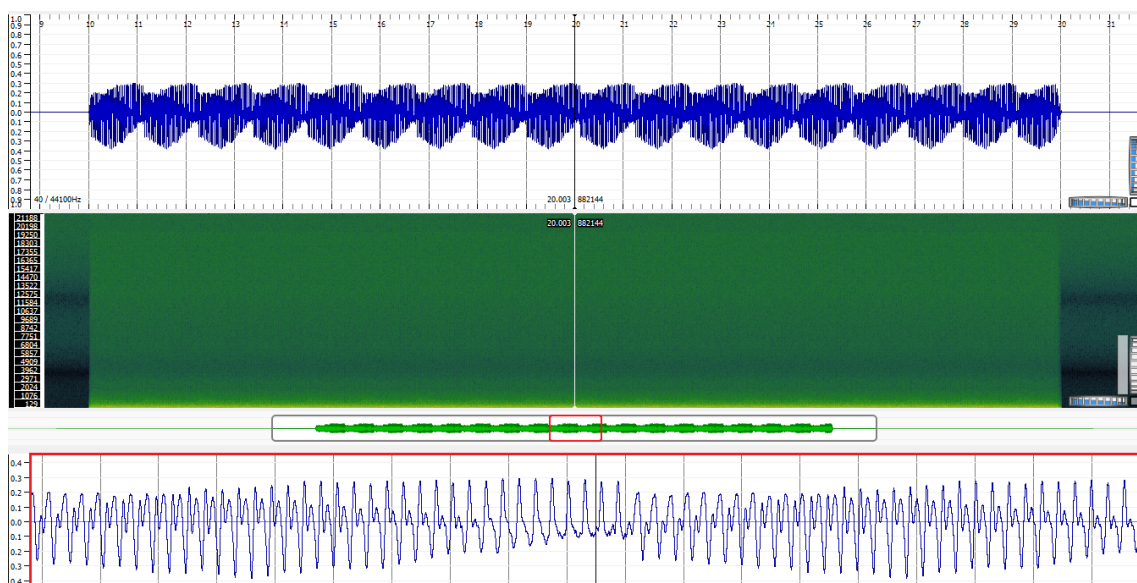


Figura A-4 - Forma de onda do som 4, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

¹ Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

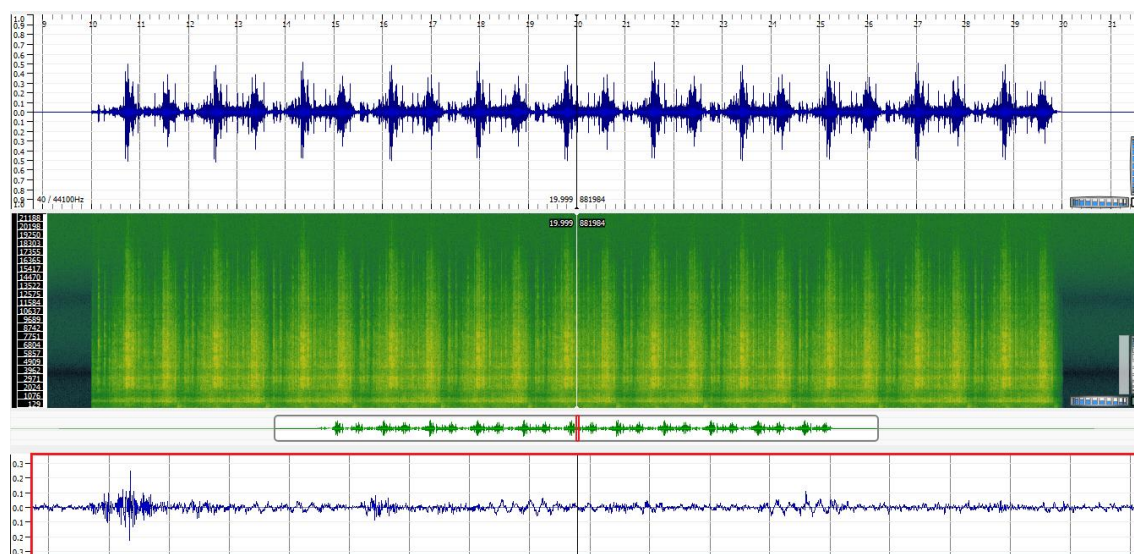


Figura A-5 - Forma de onda do som 5, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

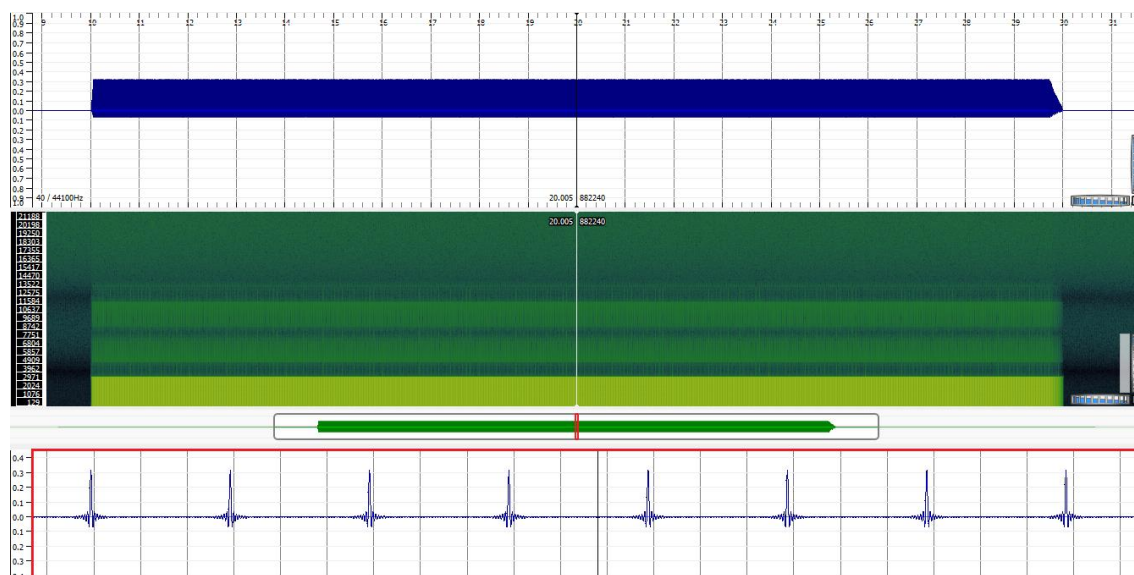


Figura A-6 - Forma de onda do som 6, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

¹ Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

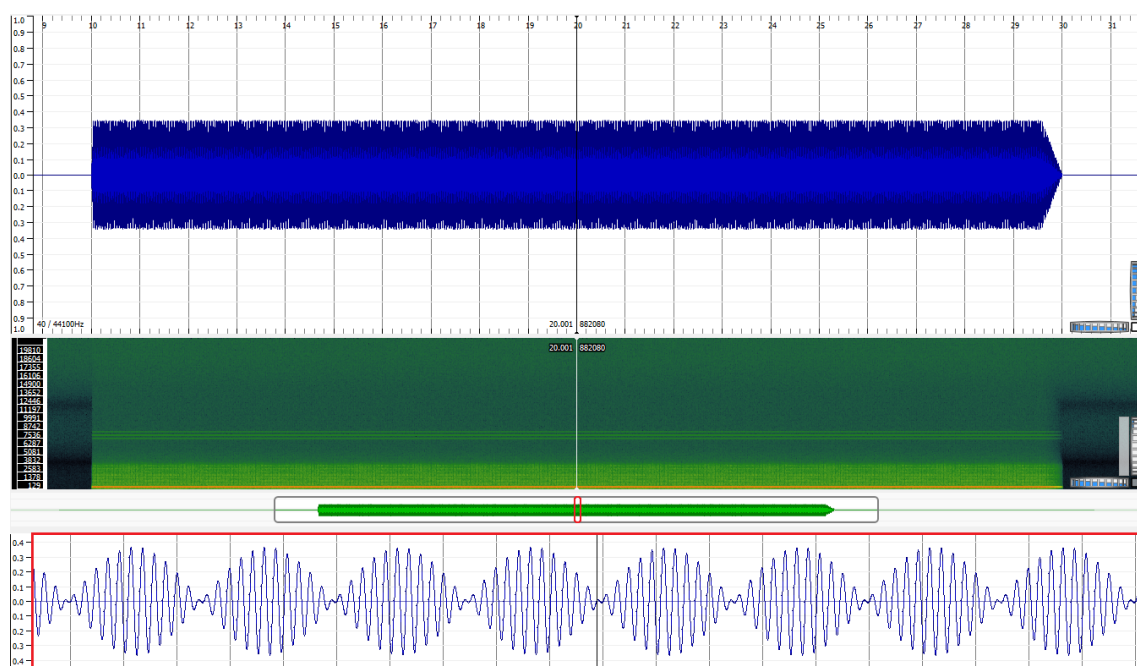


Figura A-7 - Forma de onda do som 7, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

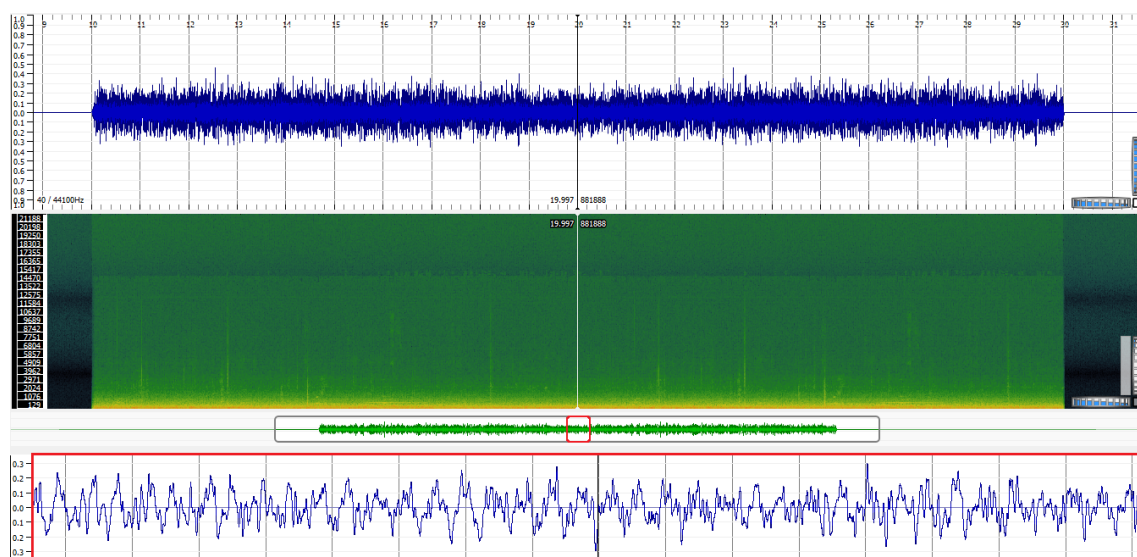


Figura A-8 - Forma de onda do som 8, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

¹ Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

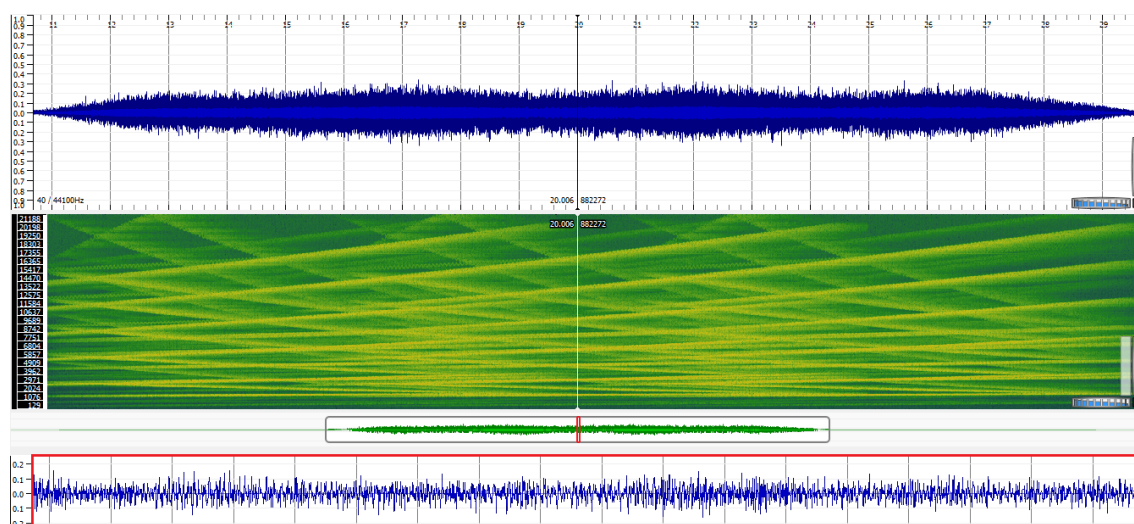


Figura A-9 - Forma de onda do som 9, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

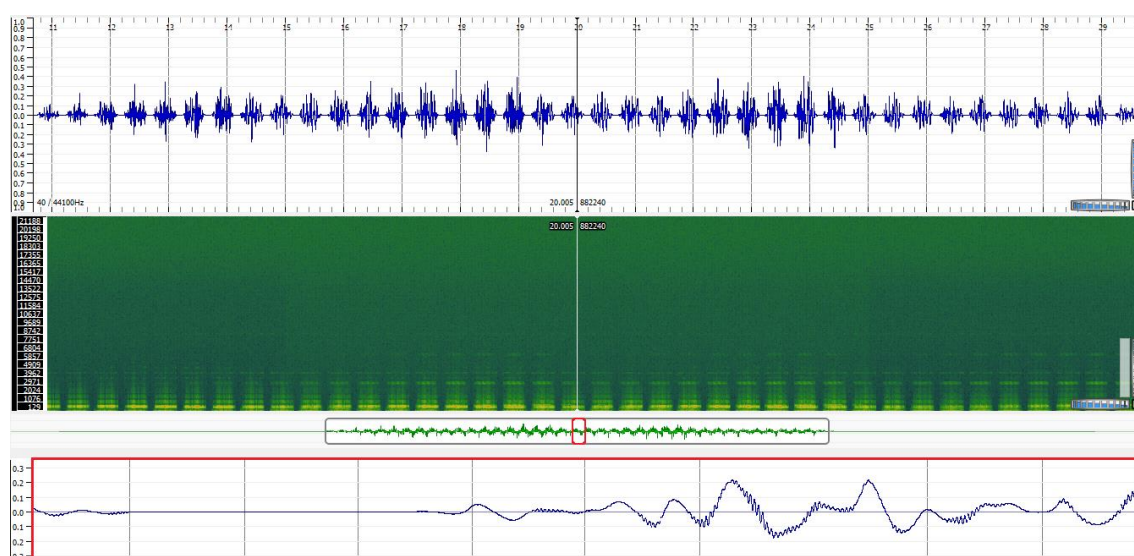


Figura A-10 - Forma de onda do som 10, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo.¹

¹ Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

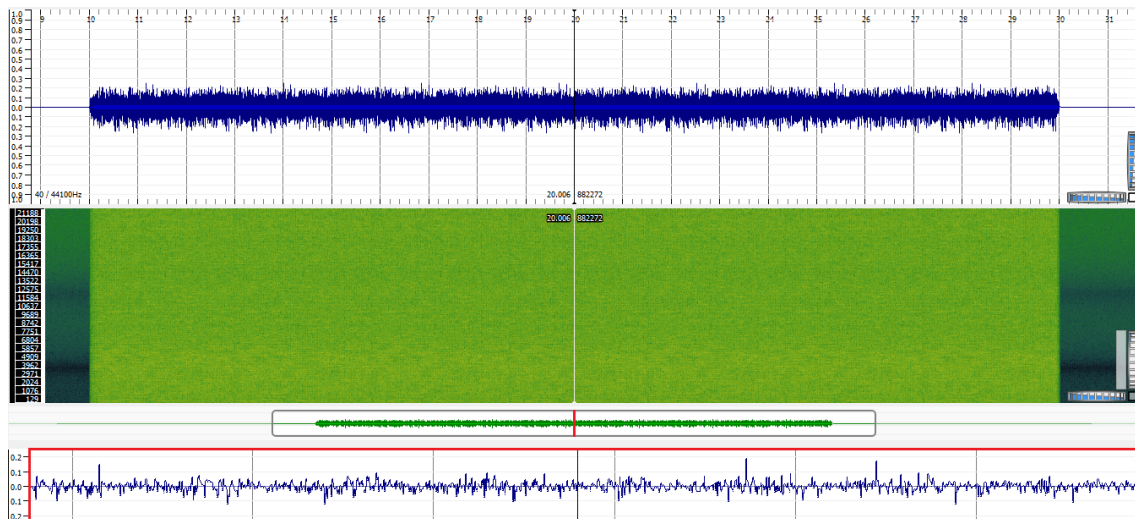


Figura A-11 - Forma de onda do som 11, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo. Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 10 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

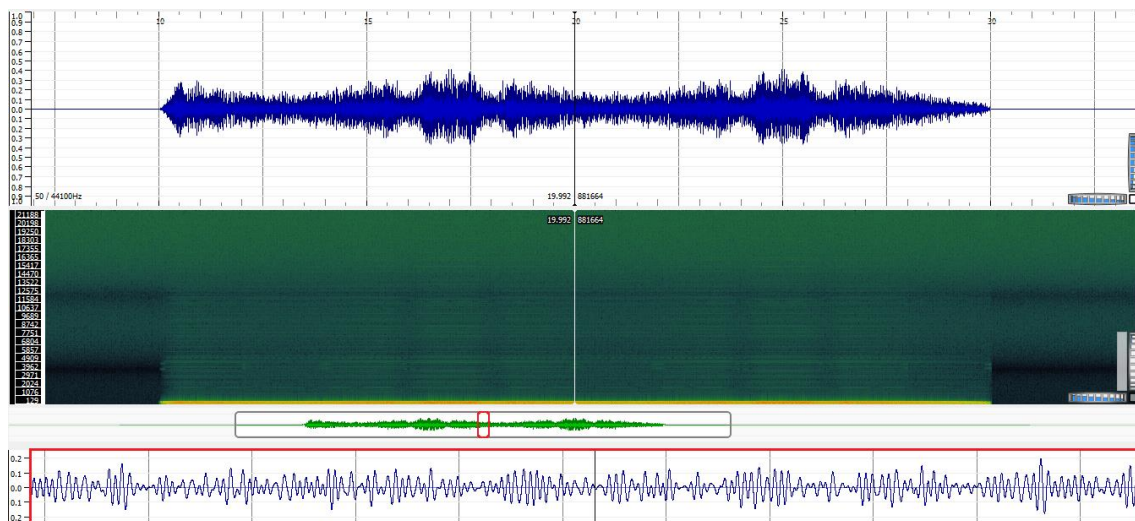


Figura A-12 - Forma de onda do som 12, em cima, e respectivo espectrograma, imediatamente em baixo. Abaixo do espectrograma ilustra-se a forma de onda do estímulo completo, incluindo 10 segundos de silêncio, 20 segundos de som e, novamente, 20 segundos de silêncio, destacando-se: a cinzento o intervalo de tempo relativo à forma de onda e ao espectrograma acima representados; e a vermelho um intervalo de tempo mais curto, relativo à forma de onda apresentada em baixo, também destacada a vermelho.

B. APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologias
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas
Dissertação de Mestrado em Engenharia
Biomédica



QUESTIONÁRIO

Preencher antes da aquisição

NOME

IDADE

GÉNERO

FEMININO

MASCULINO

FORMAÇÃO ACADÉMICA

FORMAÇÃO MUSICAL

SEM FORMAÇÃO

MÚSICO AMADOR

TREINO MUSICAL INTENSIVO

CONSUMIU CAFÉ, TABACO OU OUTRAS SUBSTÂNCIAS NAS ÚLTIMAS DUAS HORAS?

SIM

NÃO

SE SIM, QUAIS?

HISTORIAL CLÍNICO (DOENÇAS DO FORO NEUROLÓGICO)

Figura B-1 - Primeira página do questionário facultado aos voluntários, respeitante aos dados pessoais do sujeito, incluindo questões adicionais sobre o histórico de patologias neurológicas e o consumo de substâncias relevantes nas duas horas anteriores ao início do procedimento experimental.

Preencher durante a aquisição

SOM 1

CAMPO DA MATÉRIA

Como classifica este som quanto à **cor**?

	Brilhante
	Baço
	Escuro
	Claro
	Outro

Se outro, qual? _____

Como classifica este som quanto à **textura**?

	Lisa
	Rugosa
	Granulosa
	Estriada
	Outro

Se outro, qual? _____

Como classifica este som quanto à **densidade**?

	Elevada
	Média
	Baixa

Figura B-2 – Segunda página do questionário facultado aos voluntários, associada às características do som 1 relativas ao campo da matéria ¹.

¹ As páginas referentes aos sons 2 a 8 foram ocultadas, por serem idênticas à segunda página do questionário. Analogamente, também se ocultaram as páginas referentes aos sons 11 e 12, uma vez que são idênticas à página em seguida apresentada relativa aos sons 9 e 10.

SOM 9

CAMPO DA POSIÇÃO

Como classifica este som quanto à **direcionalidade**?

<input type="checkbox"/>	Direcional
<input type="checkbox"/>	Não direcional

Como classifica este som quanto à **mobilidade**?

<input type="checkbox"/>	Imóvel
<input type="checkbox"/>	Em movimento

Como classifica este som quanto à **distância**?

<input type="checkbox"/>	Próximo
<input type="checkbox"/>	Distante

SOM 10

CAMPO DA POSIÇÃO

Como classifica este som quanto à **direcionalidade**?

<input type="checkbox"/>	Direcional
<input type="checkbox"/>	Não direcional

Como classifica este som quanto à **mobilidade**?

<input type="checkbox"/>	Imóvel
<input type="checkbox"/>	Em movimento

Como classifica este som quanto à **distância**?

<input type="checkbox"/>	Próximo
<input type="checkbox"/>	Distante

Figura B-3 – Décima página do questionário facultado aos voluntários, associada às características do som 9 e 10 relativas ao campo da posição.

C. APÊNDICE III – RESULTADOS QUESTIONÁRIOS – AMOSTRA TOTAL

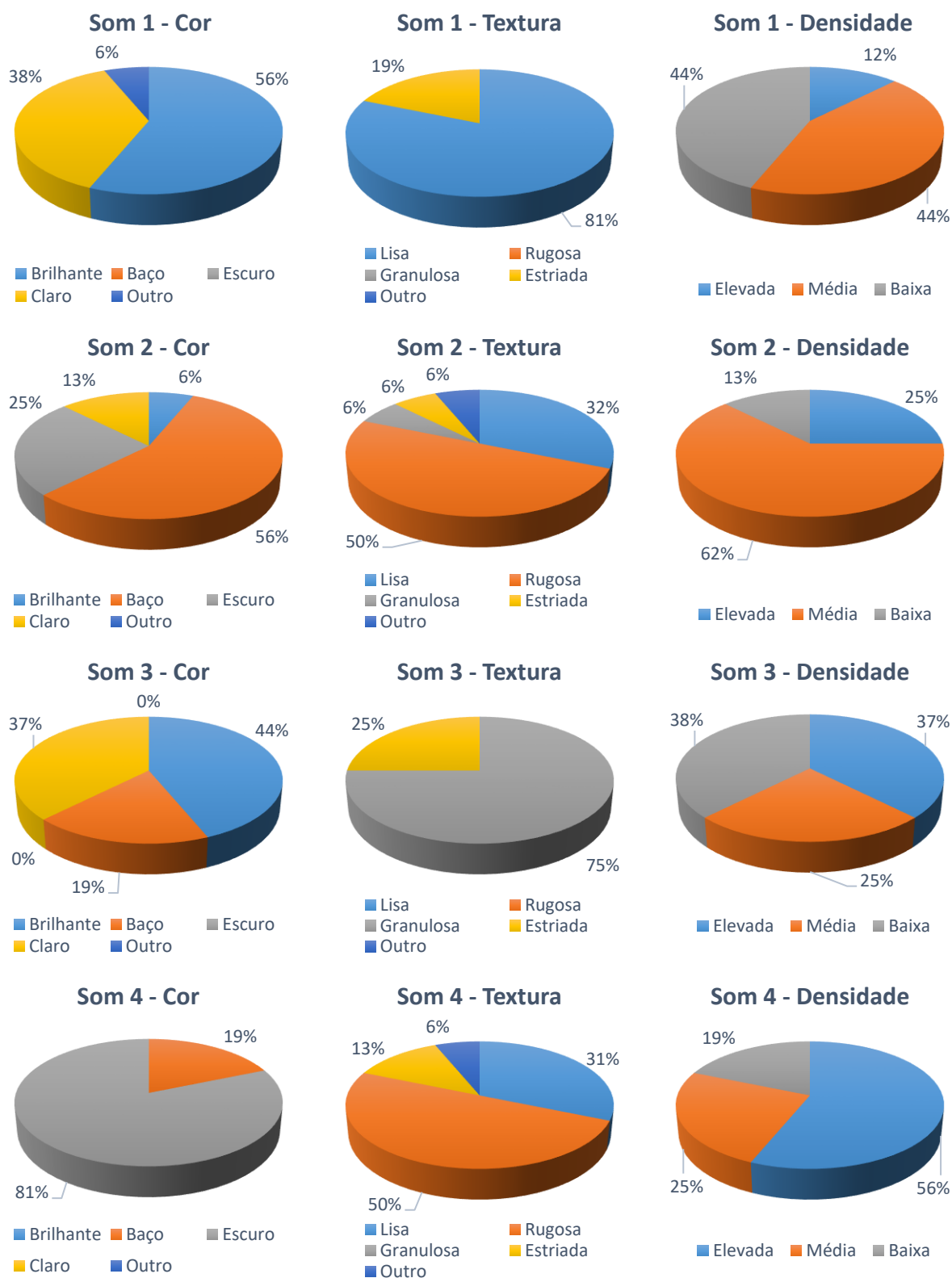


Figura C-1 - Gráficos circulares ilustrativos das percentagens relativas ao número de respostas atribuídas a cada uma das opções associadas às várias características dos sons 1, 2, 3 e 4, para a amostra total.

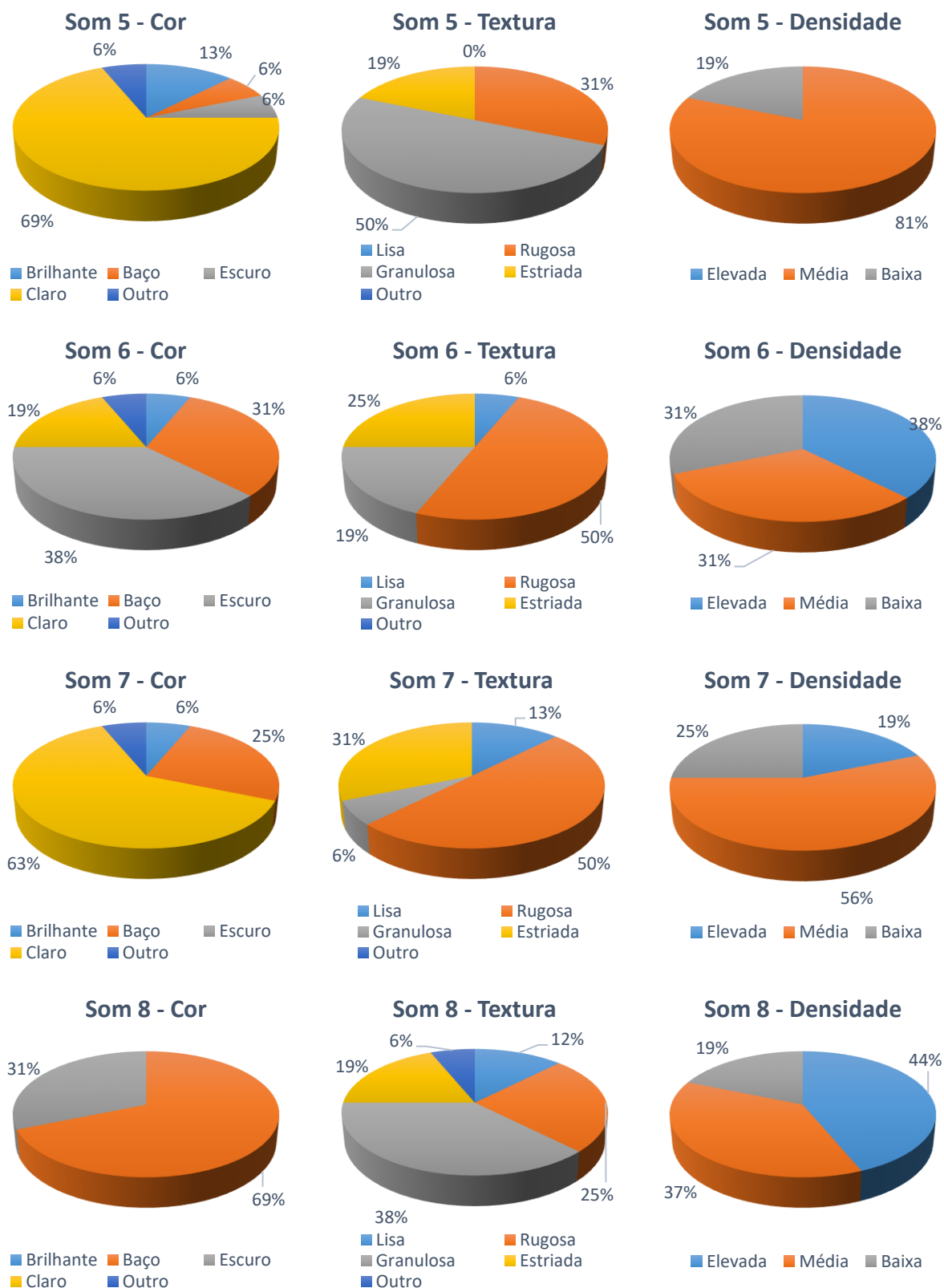


Figura C-2 - Gráficos circulares ilustrativos das percentagens relativas ao número de respostas atribuídas a cada uma das opções associadas às várias características dos sons 5, 6, 7 e 8, para a amostra total.

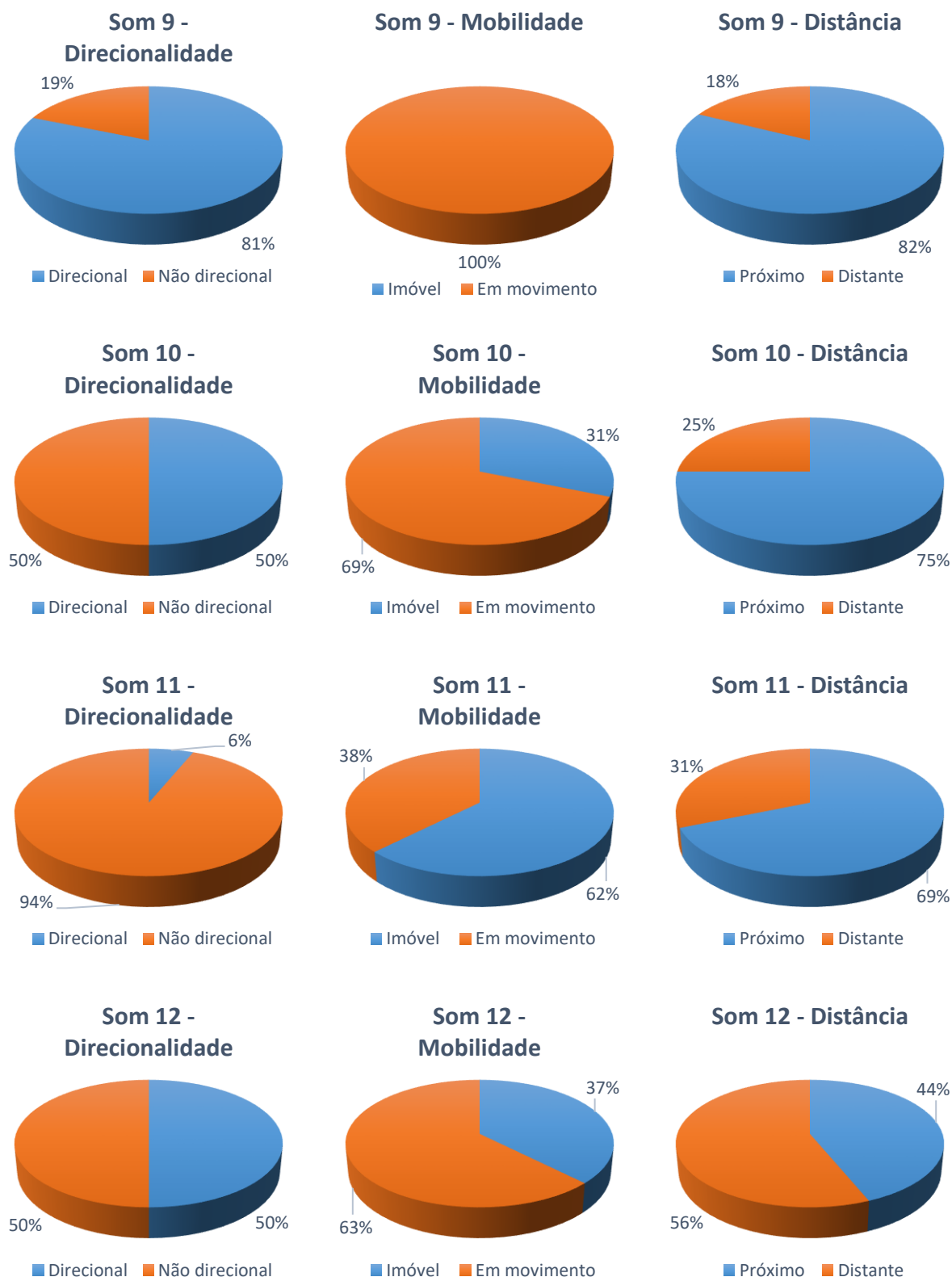


Figura C-3 - Gráficos circulares ilustrativos das percentagens relativas ao número de respostas atribuídas a cada uma das opções associadas às várias características dos sons 9, 10, 11 e 12, para a amostra total.

D. APÊNDICE IV – RESULTADOS QUESTIONÁRIOS – GRUPOS DE FORMAÇÃO MUSICAL¹

INDIVÍDUOS COM TREINO MUSICAL INTENSIVO

Tabela D-1 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da matéria, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos com treino musical intensivo.

	Cor		Textura		Densidade	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 1	Brilhante	Claro	Liso	Liso	Baixa	Baixa
Som 2	Baço	Baço	Rugoso	Estriado	Média	Elevada
Som 3	Brilhante	Brilhante	Granuloso	Granuloso	Elevada	Baixa
Som 4	Escuro	Escuro	Liso	Liso	Média	Média
Som 5	Claro	Claro	Inconclusivo	Granuloso	Média	Baixa
Som 6	Escuro	Baço	Rugoso	Rugoso	Baixa	Média
Som 7	Claro	Brilhante	Estriado	Estriado	Média	Elevada
Som 8	Inconclusivo	Escuro	Inconclusivo	Rugoso	Elevada	Média

¹ Nesta secção incluem-se as tabelas construídas a partir de gráficos circulares semelhantes aos apresentados na secção Anexo III, mas considerando, individualmente para cada grupo de formação musical. Os gráficos foram omitidos para evitar uma exposição excessiva.

Tabela D-2 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da posição, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos com treino musical intensivo.

	Direcionalidade		Mobilidade		Distância	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 9	Direcional	Não direcional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Próximo
Som 10	Inconclusivo	Direcional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Distante
Som 11	Não direcional	Não direcional	Imóvel	Imóvel	Próximo	Distante
Som 12	Inconclusivo	Direcional	Em movimento	Inconclusivo	Distante	Próximo

MÚSICOS AMADORES

Tabela D-3 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da matéria, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os músicos amadores.

	Cor		Textura		Densidade	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 1	Brilhante	Claro	Liso	Liso	Média	Baixa
Som 2	Baço	Baço	Rugoso	Estriado	Média	Elevada
Som 3	Inconclusivo	Brilhante	Granuloso	Granuloso	Baixa	Baixa
Som 4	Escuro	Escuro	Rugoso	Liso	Elevada	Média
Som 5	Claro	Claro	Granuloso	Granuloso	Média	Baixa
Som 6	Baço	Baço	Rugoso	Rugoso	Elevada	Média
Som 7	Inconclusivo	Brilhante	Rugoso	Estriado	Média	Elevada
Som 8	Baço	Escuro	Granuloso	Rugoso	Média	Média

Tabela D-4 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da posição, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os músicos amadores.

	Direccionalidade		Mobilidade		Distância	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 9	Direccional	Não direccional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Próximo
Som 10	Não direccional	Direccional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Distante
Som 11	Não direccional	Não direccional	Em movimento	Imóvel	Distante	Distante
Som 12	Não direccional	Direccional	Em movimento	Inconclusivo	Distante	Próximo

INDIVÍDUOS SEM FORMAÇÃO MUSICAL

Tabela D-5 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da matéria, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos sem formação musical.

	Cor		Textura		Densidade	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 1	Claro	Claro	Liso	Liso	Baixa	Baixa
Som 2	Baço	Baço	Liso	Estriado	Média	Elevada
Som 3	Inconclusivo	Brilhante	Granuloso	Granuloso	Média	Baixa
Som 4	Escuro	Escuro	Rugoso	Liso	Elevada	Média
Som 5	Inconclusivo	Claro	Inconclusivo	Granuloso	Média	Baixa
Som 6	Baço	Baço	Rugoso	Rugoso	Elevada	Média
Som 7	Claro	Brilhante	Rugoso	Estriado	Inconclusivo	Elevada
Som 8	Baço	Escuro	Inconclusivo	Rugoso	Inconclusivo	Média

Tabela D-6 - Características dos sons escolhidos de forma a inferir acerca de características do campo da posição, segundo os resultados dos questionários preenchidos pelos voluntários aquando da realização do presente estudo, em Junho de 2016, e segundo os resultados do estudo de Pires (2012), considerando apenas os indivíduos sem formação musical.

	Direccionalidade		Mobilidade		Distância	
	2016	2012	2016	2012	2016	2012
Som 9	Direccional	Não direccional	Em movimento	Em movimento	Distante	Próximo
Som 10	Direccional	Direccional	Em movimento	Em movimento	Próximo	Distante
Som 11	Não direccional	Não direccional	Imóvel	Imóvel	Próximo	Distante
Som 12	Direccional	Direccional	Em movimento	Inconclusivo	Próximo	Próximo

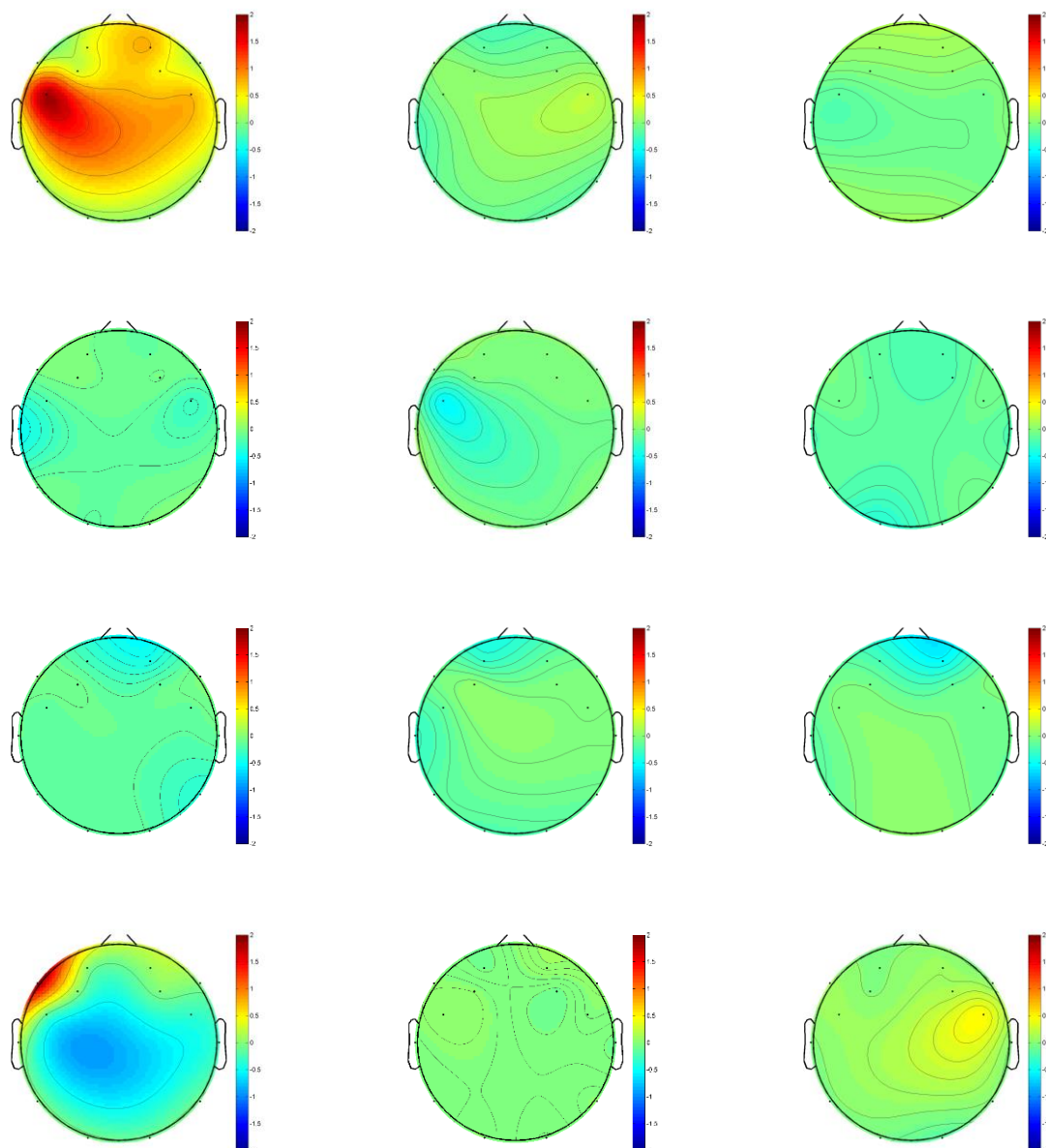
E. APÊNDICE V – MAPAS TOPOGRÁFICOS¹

Figura E-1 - Mapas topográficos associados às diferenças na potência do ritmo beta entre o período de silêncio e de aplicação de estímulo, para o grupo TMI e para os 12 sons: a primeira fila é referente aos sons 1, 2, 3 e 4, de cima para baixo; a segunda aos sons 5, 6, 7 e 8 e a terceira aos sons 9, 10, 11 e 12.

¹ Nesta secção incluem-se apenas, a título exemplificativo, os mapas topográficos associados às diferenças de potência verificadas para a banda beta, entre o período de silêncio e de estímulo, e para um indivíduo de cada um dos grupos de níveis de formação musical: TMI, MA e SFM.

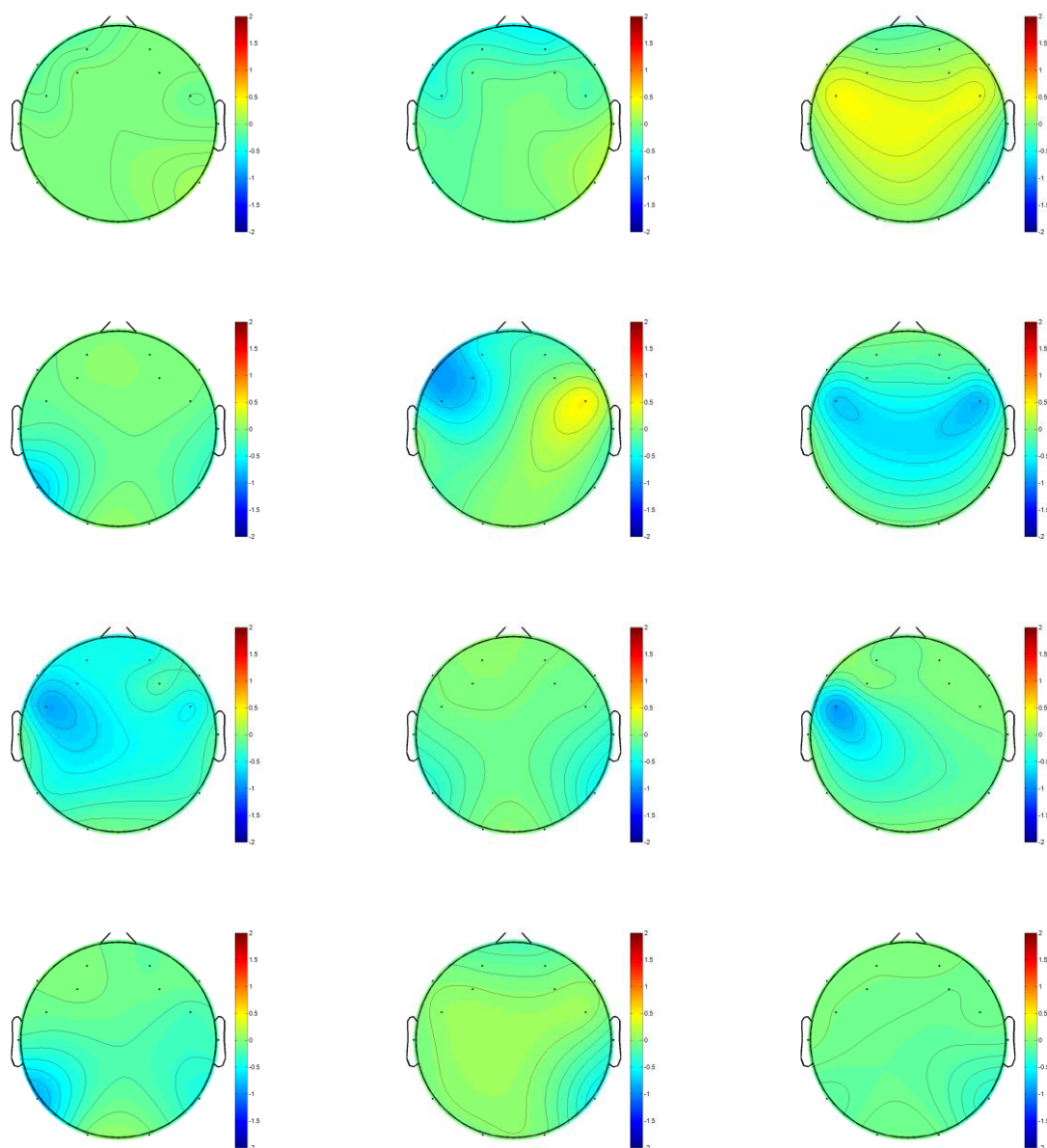


Figura E-2 - Mapas topográficos associados às diferenças na potência do ritmo beta entre o período de silêncio e de aplicação de estímulo, para o grupo MA e para os 12 sons: a primeira fila é referente aos sons 1, 2, 3 e 4, de cima para baixo; a segunda aos sons 5, 6, 7 e 8 e a terceira aos sons 9, 10, 11 e 12.

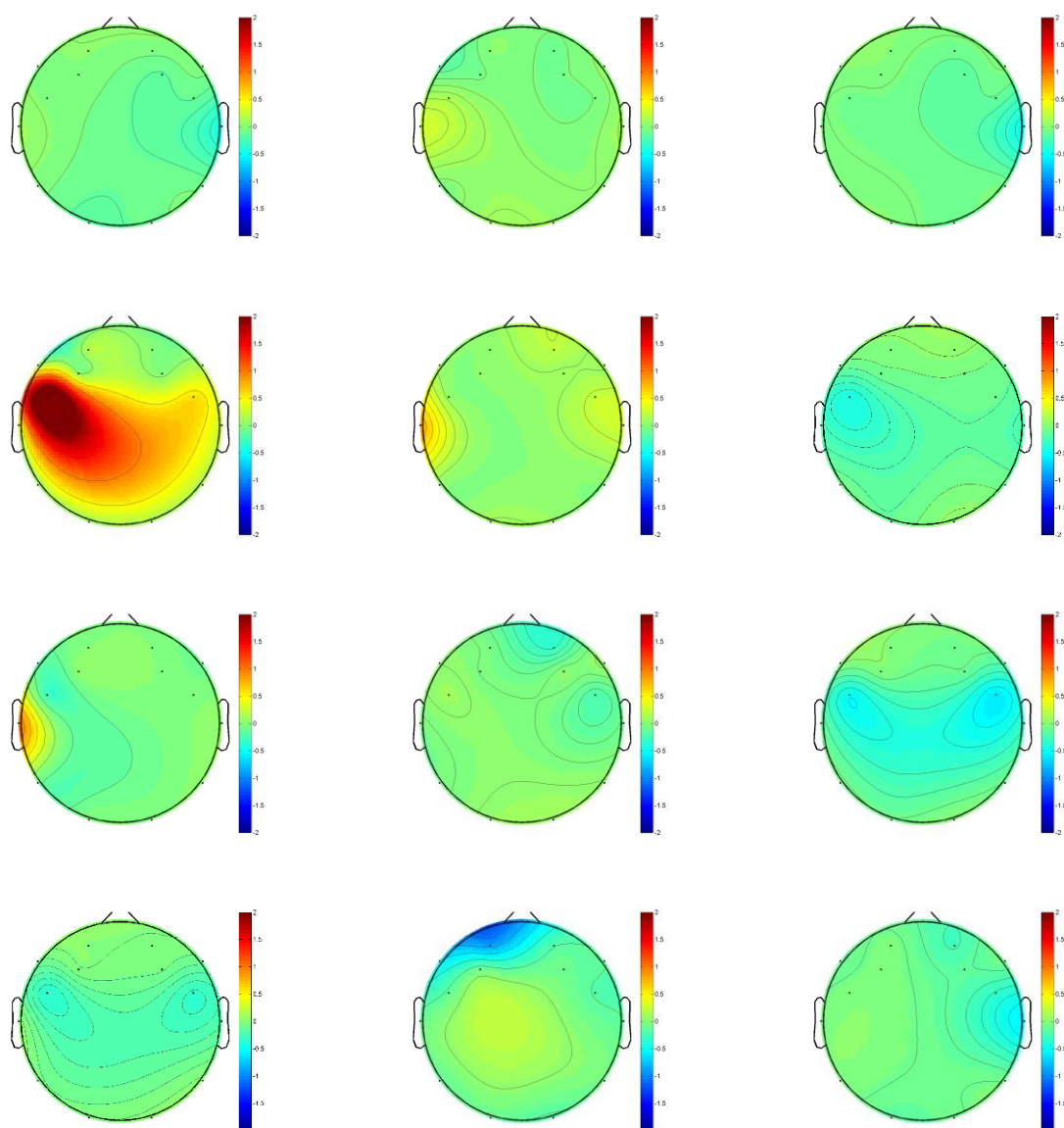


Figura E-3 - Mapas topográficos associados às diferenças na potência do ritmo beta entre o período de silêncio e de aplicação de estímulo, para o grupo SFM e para os 12 sons: a primeira fila é referente aos sons 1, 2, 3 e 4, de cima para baixo; a segunda aos sons 5, 6, 7 e 8 e a terceira aos sons 9, 10, 11 e 12.

F. APÊNDICE VI – RESULTADOS TESTES T – GRUPO SFM

Tabela F-1 - Resultados dos testes t no que respeita às alterações significativas verificadas entre os períodos de silêncio e de aplicação de estímulo, para cada ritmo cerebral, teta (θ), alfa (α) e beta (β) e para cada canal, considerando os períodos de silêncio e de estímulo dos indivíduos pertencentes ao grupo SFM. Na tabela apresentam-se os valores das diferenças entre os integrais das curvas PSD para os dois períodos mencionados. Os valores representados a vermelho estão associados a diferenças negativas, ou seja, indicam que se verificou uma diminuição da atividade do ritmo cerebral em questão; os valores não representados (-) dizem respeito às alterações não significativas. Os sons que não se encontram representados não apresentaram qualquer alteração significativa.

Som		Canal													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	5,2	-	-	4,5	-	-	-	5,0	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	θ	-	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	-
5	θ	-	-	-	-	-	-	1,2	-	2,0	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7	-	-
12	θ	-	-	-	-	-	-	-	2,4	-	-	-	-	-	-
	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-